

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

**FACULTAD DE CIENCIAS GEOLOGICAS**  
**Departamento de Geodinámica**



**LOS MOVIMIENTOS DE LADERA EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANANA (MALLORCA): CARACTERIZACIÓN  
GEOMECÁNICA Y ANALISIS DE PELIGROSIDAD**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR**

**PRESENTADA POR**

**Rosa María Mateos Ruiz**

Bajo la dirección de los doctores:  
Luís González de Vallejo y Mercedes Ferrer Gijón

**Madrid, 2001**

**ISBN: 84-669-1783-7**



T 25058

I

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEODINÁMICA**

**LOS MOVIMIENTOS DE LADERA EN LA SERRA  
DE TRAMUNTANA (MALLORCA).  
CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA Y  
ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD**



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE



5314019409

Tesis Doctoral presentada por **ROSA MARÍA MATEOS RUIZ** para la  
obtención del grado de Doctora en Ciencias Geológicas

Directores: Dr. Luis I. González de Vallejo y Dra. Mercedes Ferrer Gijón

Madrid, año 2000



BIBLIOTECA

126170 528

A mis padres, Luis y Pilar

## RESUMEN

En esta investigación se realiza un análisis de la peligrosidad por movimientos de ladera en la vertiente litoral de la Serra de Tramuntana de la Isla de Mallorca.

A partir del trabajo de campo y del análisis de fotografía aérea, se han inventariado y caracterizado los movimientos de ladera recientes y antiguos que afectan a la zona de estudio, estableciendo tres tipologías principales de movimientos: desprendimientos rocosos, deslizamientos rotacionales en roca y deslizamientos complejos en suelos.

Se han analizado con detalle los diferentes factores condicionantes de la inestabilidad tales como: geología, geomorfología, resistencia de los materiales, pendientes, hidrogeología y vegetación, elaborando cartografías de cada uno de ellos a escala 1:25,000. La zona de estudio se ha dividido en tres subzonas, elaborando las diferentes cartografías para cada una de ellas.

Con la finalidad de caracterizar geomecánicamente los materiales que constituyen la Serra de Tramuntana, se han recopilado los datos de numerosos sondeos realizados en la zona, llevando a cabo una clasificación geotécnica de los materiales basada en el valor de resistencia a compresión simple. La variedad litológica del área de estudio determina la existencia de materiales con comportamientos desde suelos extremadamente blandos a macizos rocosos de gran dureza. En base a esta clasificación se han elaborado cartografías litológico – geotécnicas a escala 1:25,000.

La situación litoral de la zona de estudio determina aspectos adicionales a los analizados habitualmente en los trabajos de peligrosidad, por lo que se han caracterizado los principales aspectos hidrodinámicos así como la sedimentación del litoral de la Serra Norte de Mallorca. La recopilación de datos de sondeos en la plataforma somera ha permitido la elaboración de cartografías de dinámica y sedimentación litoral a escala 1:25,000. Estas cartografías ponen de manifiesto una clara correlación entre acumulaciones importantes de sedimentos no consolidados en la franja litoral sumergida y la presencia de grandes movimientos de ladera en tierra.

A partir del inventario de movimientos de ladera y los diferentes factores condicionantes de la inestabilidad, se ha realizado el análisis de la susceptibilidad, según los criterios establecidos en una metodología propia denominada “Método de los Círculos”. Se han elaborado las cartografías de susceptibilidad a escala 1:25,000, donde se zonifica el área de estudio en base a tres grados de susceptibilidad: bajo, medio y alto.

El análisis temporal de la peligrosidad conlleva un estudio de los factores desencadenantes de los movimientos. Se han analizado cuatro factores desencadenantes: precipitaciones, sismicidad, erosión litoral y actividad humana. El factor meteorológico, principalmente la pluviometría, es el principal desencadenante de movimientos recientes, por lo que se ha llevado a cabo un análisis de la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones intensas en la Serra de Tramuntana.

La correlación de las zonas potenciales inestables (susceptibilidad) con la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones intensas permite estimar el grado de peligrosidad, obteniendo una respuesta espacio – temporal a la ocurrencia futura de movimientos de ladera.



## SUMMARY

In this research, a slope movement hazard analysis at the littoral side of Serra Tramuntana in the Mallorca Island, is carried out.

Starting from fieldwork as well as aerial photography analysis, recent and ancient slope movements affecting the studied area were recorded and characterized, distinguishing three main typologies of slope movements: rockfalls, rotation rockslides and complex soilslides.

Different instability conditioning factors have been thoroughly analyzed, such as: geology, geomorphology, strength of materials, slopes, hydrogeology and vegetation; mapping each one up to 1:25,000 scale. In the aim of covering the whole studied area at such scale, three subareas have been distinguished, performing the specific maps of every subarea.

Data from the numerous existing boreholes in the area, were collected in order to typify geomechanically the making up materials of Serra Tramuntana, carrying out a geotechnical classification of such materials, based on the uniaxial compressive strength values. A wide variety of lithologies are present in the area ranging from extremely soft soils to high strong rocky masses. Litho-geotechnic 1:25,000 scale mapping based on this classification, has been carried out.

The coastal location of the studied area conditions additional determining factors than those regularly analyzed in geohazard studies. The main hydrodynamic aspects, as well as the littoral sedimentation of the Mallorca Serra Norte, have been typified. Shallow inner shelf drilling data recording has allowed the elaboration of 1:25,000 scale mapping of littoral dynamics and sedimentation. This mapping reveals an evident correlation between the existence of important unconsolidated sediment accumulation in the submerged littoral fringe and the presence of large inland slope movements.

A susceptibility analysis has been achieved starting from a land movement inventory mapping and the different instability conditioning factors, according to criteria established by an own methodology so-called "The Circles Method". The result is a diverse susceptibility 1:25,000 scale maps, zoning the area in regard to three susceptibility levels: low, medium and high.

Temporal hazard analysis involve a study of the movement starting factors. Four starting factors have been analyzed: rainfall, seismicity, littoral erosion and human activity. The main starting factor of recent movements is the meteorological one, so that a probability analysis of severe rainfall occurrence in the Serra Tramuntana has been carried out.

The correlation between potentially unstable areas (susceptibility) and severe rainfall occurrence probability allows to gauge the hazard rate, obtaining a space-time response to the future occurrence of slope movements.

## AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer sinceramente la colaboración de numerosas personas sin cuyo esfuerzo, apoyo y ayuda no hubiera sido posible llevar a cabo este trabajo de investigación.

A los Doctores Luis I. González de Vallejo y Mercedes Ferrer, del Departamento de Geodinámica de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid y directores de esta investigación, que confiaron en mí desde el principio y no han dejado de apoyarme y ayudarme todos estos años. A ellos les debo la fuerza moral y les agradezco de corazón su entrega y paciencia.

A Jose Luis Ruiz López, que fue mi maestro y despertó en mí el gusanillo por los deslizamientos.

A mis compañeros y amigos de la oficina del ITGE en Baleares: Raquel Morales, Chema López, Cati Bauzá, Enrique Hernández, Esperanza Palmer y Paco Bautista por los ánimos y la continua ayuda que siempre me han dado. A Julio López por su ayuda con el inglés.

A los compañeros de la Universitat de les Illes Balears: Dr. Lluís Pomar, Dr. Antonio Rodríguez, Dr. Bernardí Gelabert, Dr. Jaume Servera y Jose Ángel Martín que me han ayudado enormemente con la aportación de sus conocimientos a determinados aspectos de este trabajo.

A los Doctores Jordi Giménez y Pedro Alfaro, de la Universitat de les Illes Balears y de la Universidad de Alicante respectivamente, por su valiosa contribución a los aspectos relacionados con la neotectónica.

Al Dr. Emilio Custodio y a Juan Antonio López Geta, por las facilidades dadas para la realización de esta Tesis.

A mis amigas Meaza Tsige, Isabel Fernández, Marta Ojanguren y Loreto Fernández, por los ánimos que me han dado en todo momento y el acoso a que me han sometido para que termine de una vez por todas.

A Alfredo Barón y Concha González, que me han apoyado desde el primer día que vine a Mallorca. Les debo gran parte de mis conocimientos en el campo de la hidrogeología.

A Antonio Galmés y Javier Obartí, sin cuya colaboración no hubiera sido posible la digitalización de los mapas.

A Pedro Robledo, por los buenos momentos compartidos

A mi hijo Guillermo y muy especialmente a Benito.



# ÍNDICE

<b>Capítulo 1: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1- INTRODUCCIÓN.....	1
1.2- ANTECEDENTES.....	3
1.3- OBJETIVOS.....	4
<b>Capítulo 2: METODOLOGÍA .....</b>	<b>6</b>
2.1- ANTECEDENTES Y CONTEXTO METODOLÓGICO.....	6
2.2- ESQUEMA Y PROCESO DE TRABAJO.....	7
2.2.1- Análisis de la Susceptibilidad.....	7
2.2.2- Análisis de la Peligrosidad.....	12
<b>Capítulo 3: MARCO GEOGRÁFICO DE LA ZONA DE ESTUDIO .....</b>	<b>13</b>
3.1- SITUACIÓN GEOGRÁFICA.....	13
3.1.1- La Serra de Tramuntana.....	14
3.1.2- Las Serres de Llevant.....	15
3.1.3- Los Llanos Centrales.....	15
3.2- LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	16
3.3- CONDICIONES CLIMÁTICAS EN LA ISLA DE MALLORCA.....	17
3.4- HIDROLOGÍA.....	18
3.5- VEGETACIÓN DE LA SERRA DE TRAMUNTANA.....	20
3.6- POBLACIÓN Y ACTIVIDADES ECONÓMICAS EN LA SERRA DE TRAMUNTANA.....	22
3.7- INGENIERÍA POPULAR PARA EVITAR LA EROSIÓN Y CULTIVAR LAS LADERAS DE LA SERRA DE TRAMUNTANA.....	24
<b>Capítulo 4: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....</b>	<b>26</b>
4.1- MARCO GEOLÓGICO REGIONAL E INSULAR.....	26
4.1.1- Las Sierras.....	27
4.1.2- Las Cuencas.....	29
4.2- GEOLOGÍA DE LA SERRA DE TRAMUNTANA.....	30
4.2.1- Dominio litoestratigráfico.....	30
4.2.2- Dominio estructural.....	36
4.3- NEOTECTÓNICA Y SISMICIDAD .....	38
4.3.1- El Archipiélago Balear en el contexto tectónico actual del Mediterráneo occidental.....	38
4.3.2- Neotectónica en la Isla de Mallorca.....	39
4.3.3- Sismicidad en la Isla de Mallorca.....	42

<b>Capítulo 5: DINÁMICA LITORAL.....</b>	<b>45</b>
5.1- INTRODUCCIÓN.....	45
5.2- RÉGIMEN DIRECCIONAL Y ESCALAR DEL OLEAJE.....	45
5.3- CORRIENTES Y MODALIDAD DE TRANSPORTE DE SÓLIDOS.....	48
5.3.1- La corriente permanente del Mediterráneo.....	49
5.3.2- Las corrientes de arrastre.....	50
5.3.3- Las corrientes de gradiente.....	51
5.3.4- Corrientes producidas por el oleaje.....	52
5.4- SEDIMENTOLOGÍA LITORAL.....	55
5.5- CAMBIOS EUSTÁTICOS EN EL MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL DURANTE EL CUATERNARIO: INCIDENCIA EN EL LITORAL DE LA SERRA DE TRAMUNTANA.....	57

<b>Capítulo 6: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MATERIALES QUE CONSTITUYEN LA SERRA DE TRAMUNTANA. CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA. 62</b>	<b>62</b>
6.1- CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MATERIALES QUE CONSTITUYEN LA SERRA DE TRAMUNTANA.....	62
6.1.1- Areniscas y lutitas del Buntsandstein.....	63
6.1.2- Dolomías con intercalaciones margosas del Muschelkalk.....	65
6.1.3- Rocas blandas y suelos versicolores del Triásico superior (Keuper).....	67
6.1.4- Dolomías del Rethiense (Triásico superior– Jurásico inferior)	74
6.1.5- Rocas carbonatadas (calizas, dolomías y brechas) del Jurásico inferior o Lías.....	76
6.1.6- Margas y margocalizas del Jurásico medio – superior, Cretácico inferior.....	83
6.1.7- Materiales turbidíticos del Neógeno: Fm. Calcarenítica de Sant Elm y Fm. Turbidítica de Banyalbufar.....	86
6.1.8- Sedimentos recientes del Cuaternario.....	93
6.2- CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES DE LA SERRA DE TRAMUNTANA.....	100

<b>Capítulo 7: CARTOGRAFÍA DE LOS FACTORES QUE CONDICIONAN LOS MOVIMIENTOS DE LADERA. 104</b>	<b>104</b>
7.1- INTRODUCCIÓN.....	104
7.2- ZONA ESTELLENCS- BANYALBUFAR.....	105
7.2.1- Geología. Mapas geológico y litológico – geotécnico.....	105
7.2.2- Hidrogeología. Mapa de permeabilidades.....	107
7.2.3- Geomorfología. Mapas de pendientes y geomorfológico.....	109
7.2.4- Vegetación y usos del suelo.....	111
7.2.5- Dinámica litoral.....	111
7.3- ZONA ESPORLES- DEIÀ.....	112
7.3.1- Geología. Mapas geológico y litológico – geotécnico.....	113
7.3.2- Hidrogeología. Mapa de permeabilidades.....	114
7.3.3- Geomorfología. Mapas de pendientes y geomorfológico.....	116
7.3.4- Vegetación y usos del suelo.....	118
7.3.5- Dinámica litoral.....	120



7.4- ZONA SÓLLER.....	121
7.4.1- Geología. Mapas geológico y litológico – geotécnico.....	121
7.4.2- Hidrogeología. Mapa de permeabilidades.....	123
7.4.3- Geomorfología. Mapas de pendientes y geomorfológico.....	125
7.4.4- Vegetación y usos del suelo.....	128
7.4.5- Dinámica litoral.....	129

<b>Capítulo 8: TIPOLOGÍA DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA EN LA ZONA DE ESTUDIO.....</b>	<b>131</b>
8.1- INTRODUCCIÓN.....	131
8.2- DESPRENDIMIENTOS O CAÍDA DE ROCAS.....	133
8.2.1- Tipos de desprendimientos.....	133
8.2.2- Condiciones de generación de desprendimientos rocosos.....	136
8.3- DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES EN ROCAS.....	139
8.3.1- Descripción de los movimientos.....	140
8.3.2- Características generales de los deslizamientos rotacionales en roca: discusión sobre su origen.....	143
8.4- MOVIMIENTOS COMPLEJOS EN SUELOS: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES CON FLUJOS ASOCIADOS.....	144

<b>Capítulo 9: ANÁLISIS Y CARTOGRAFÍA DE SUSCEPTIBILIDAD.....</b>	<b>148</b>
9.1- INTRODUCCIÓN.....	148
9.2- EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD: MÉTODO DE LOS CÍRCULOS.....	149
9.2.1- Círculo de susceptibilidad para desprendimientos rocosos.....	153
9.2.2- Círculo de susceptibilidad para deslizamientos en roca.....	154
9.2.3- Círculo de susceptibilidad para deslizamientos complejos en suelos.....	155
9.3- MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD .....	156
9.3.1- Mapa de susceptibilidad a los movimientos de ladera en la zona Estellencs – Banyalbufar.....	157
9.3.2- Mapa de susceptibilidad a los movimientos de ladera en la zona Esporles – Deià.....	161
9.3.3- Mapa de susceptibilidad a los movimientos de ladera en la zona de Sóller.....	164
9.4- ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD.....	167

<b>Capítulo 10: EVALUACIÓN DE LA PELIGROSIDAD.....</b>	<b>170</b>
10.1- FACTORES DESENCADENANTES.....	170
10.1.1- Introducción.....	170
10.1.2- Clima y meteorología.....	171
10.1.3- Sismicidad.....	174
10.1.4- Erosión litoral.....	175
10.1.5- Actividad humana: construcción y obras civiles, minería.....	178

10.2- ANÁLISIS DE LAS PRECIPITACIONES.....	181
10.2.1- Introducción.....	181
10.2.2- Análisis de la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones intensas en la Serra de Tramuntana.....	182
10.3- RESULTADOS: MAPAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 H PARA DIVERSOS PERÍODOS DE RETORNO.....	189
10.4- ANÁLISIS DE LA PELIGROSIDAD.....	190
<b><u>Capítulo 11: CONCLUSIONES</u></b> .....	<b>192</b>
<b><u>Capítulo 12: APLICACIONES Y PROPUESTA DE FUTURAS                 INVESTIGACIONES</u></b> .....	<b>198</b>
12.1- APLICACIONES.....	198
12.2- PROPUESTA DE FUTURAS INVESTIGACIONES.....	199
<b><u>Capítulo 13: BIBLIOGRAFÍA</u></b> .....	<b>201</b>
<b><u>ANEXOS</u></b> .....	<b>216</b>
ANEXO I – FICHAS INVENTARIO.....	216
ANEXO II – ANÁLISIS METEOROLÓGICO.....	271

## SIMBOLOGÍA

$c$	Cohesión	P.e.a.	Peso específico aparente
$c'$	Cohesión efectiva	$Q$	Caudal.
$c_a$	Cohesión aparente	$Q_u$	Resistencia a la compresión simple de un suelo.
$c_r$	Cohesión residual	RMR	Índice de Bieniawski.
$c'_r$	Cohesión efectiva residual	RQD	Porcentaje de recuperación de testigo.
$c_u$	Cohesión sin drenaje	$S$	Resistencia al corte
$D_{10}$	Diámetro eficaz.	$T$	Transmisividad.
$D_r$	Densidad relativa	$\mu$	Presión intersticial.
$E$	Módulo de elasticidad	$V_p$	Velocidad sónica ondas p
$e$	Índice de poros	$V_s$	Velocidad sónica ondas s
FS	Factor de seguridad	$W$	Peso
$G$	Peso específico de las partículas de un suelo.	$\gamma$	Peso específico de un suelo.
$g$	Aceleración de la gravedad	$\gamma_d$	Peso específico seco.
$I_j$	Índice de durabilidad (LUTTON,1977)	$\gamma_s$	Peso específico de las partículas sólidas del suelo.
IL	Índice de fluidez	$\gamma_{sat}$	Peso específico saturado.
IP	Índice de plasticidad	$\gamma_w$	Peso específico del agua.
JRC	Coeficiente de rugosidad $JRC_o$	$\nu$	Módulo de Poisson.
$K$	Permeabilidad	$\rho$	Densidad
$k_e$	Permeabilidad efectiva	$\sigma$	Tensión normal
$k_H$	Permeabilidad horizontal	$\sigma'$	Presión efectiva.
$K_v$	Permeabilidad vertical.	$\sigma_c$	Resistencia a compresión simple de una roca.
$L$	Longitud.	$\sigma_v$	Presión vertical.
LL	Límite líquido.	$\tau$	Tensión tangencial.
LP	Límite plástico.	$\phi$	Ángulo de rozamiento interno.
$N$	Número de golpes cada 30 cm en el SPT.	$\phi'$	Ángulo de rozamiento interno efectivo.
$\nabla$	Nivel freático	$\phi_r$	Ángulo de rozamiento interno residual.
P.e.r.	Peso específico relativo	$\phi'_r$	Ángulo de rozamiento interno residual efectivo.



# INTRODUCCIÓN

Los movimientos de ladera son uno de los procesos de la geodinámica externa terrestre más extendidos, ya que pueden afectar a cualquier región climática y a todo tipo de materiales y morfologías. Consisten en desplazamientos gravitacionales de material debido a los reajustes que provoca la variación de las condiciones de equilibrio.

A nivel nacional, la Isla de Mallorca tiene la desgracia de contar con el mayor número de víctimas ligadas a este tipo de catástrofes. En 1844, el despuntalamiento y posterior deslizamiento de un terraplén acabó con la vida de 414 habitantes de la localidad de Felanitx durante la celebración de una procesión de Semana Santa.

The map shows the island of Mallorca with various geographical features and study sites. The study sites are marked with red dots and are distributed across the island, with a higher concentration in the northern and western parts. The map includes labels for major towns such as Palma, Sóller, Deià, and Banyalbufar, as well as the Serra de Tramuntana. A north arrow is located in the top left corner, and a scale bar indicating 0 to 30 km is at the bottom.

1

Del registro histórico de movimientos se observa que la mayoría han tenido lugar en el ámbito geomorfológico de la Serra de Tramuntana.

La Serra de Tramuntana de Mallorca es un relieve montañoso con una topografía muy abrupta de espectaculares acantilados “colgados” al mar. En escasos kilómetros, se pasa de la cota cero a altitudes de hasta casi 1500 m (Puig Major, 1445 m). Este hecho, ligado a una compleja geología y a un clima mediterráneo, donde las precipitaciones se concentran en muy pocos días al año y de forma torrencial, condiciona un área con una elevada predisposición a los movimientos de ladera.

El desarrollo del turismo a partir de la década de los 50 y la creciente demanda de suelo para uso urbano residencial, así como la afluencia masiva de un turismo, que circula continuamente por la red viaria de la Serra de Tramuntana, determina que el riesgo por movimientos de ladera y taludes pueda ser muy elevado en determinadas zonas de la Serra.

Por otro lado, la abrupta orografía y el dinamismo de la costa, determinan la inexistencia de playas en este litoral (excepto el Port de Sóller), existiendo pequeñas calas asociadas generalmente a desembocaduras de torrentes o a entrantes del mar en litologías más blandas. Durante los meses veraniegos, estas pequeñas calas presentan una elevada afluencia turística, al ser los únicos accesos al mar de la costa. El continuo desmoronamiento de los acantilados ligado al retroceso natural de los mismos supone, en ocasiones, un verdadero riesgo natural.

Los movimientos de ladera son quizás el proceso natural más sensible y que ofrece una mejor respuesta a las medidas que se puedan establecer para su prevención y corrección. Para llevar a cabo este tipo de medidas, es imprescindible conocer previamente las zonas susceptibles de sufrir este tipo de procesos y predecir su ocurrencia en el tiempo. Las cartografías de susceptibilidad y peligrosidad, con una abundante información de tipo geológico, geomorfológico, geomecánico, climático etc., constituyen una herramienta fundamental para prevenir y mitigar los riesgos asociados a los movimientos de ladera, establecer los planes de ordenación del territorio de una región y diseñar adecuadamente las obras de infraestructura.

En este trabajo se realiza un análisis de la susceptibilidad y peligrosidad de los movimientos de ladera en el margen litoral de la Serra de Tramuntana, que comprende un área de 360 Km<sup>2</sup>, fundamentado en una detallada investigación de los siguientes aspectos:

- Análisis de la tipología e inventario de los movimientos de ladera
- Comportamiento geomecánico de los diferentes materiales que constituyen la Serra de Tramuntana.
- Factores que condicionan la aparición de movimientos de ladera: geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, etc.
- Dinámica litoral y su influencia en el retroceso de los acantilados.
- Factores desencadenantes de los procesos de inestabilidad
- Probabilidad de ocurrencia de los factores desencadenantes



## 1.2. - ANTECEDENTES

La primera referencia bibliográfica de un estudio de movimiento de ladera en Mallorca es un manuscrito anónimo de 1721: “Declaración de este plano, y de cómo pudo suceder (al parecer) el destrozo, desunión y desolación de tierras en este barranco”. En este documento se describe el deslizamiento de tierras que tuvo lugar el 24 de marzo del citado año en el “Sitio de Biniarroy”, de Mancor del Valle. El autor no sólo describe al detalle lo acontecido aquel día, sino que realiza un bloque diagrama de la zona afectada, donde representa y explica cada uno de los puntos de interés de la zona deslizada.

MATEU, B. (1914) cita en la publicación “Historia del pueblo de Mancor”, la ocurrencia de los deslizamientos de tierras en el “Sitio de Biniarroy” de Mancor del Valle, en los años 1721 y 1816. El autor analiza detalladamente las causas de estos deslizamientos y describe los diferentes aspectos geológicos y geomorfológicos del barranco de Biniarroy.

DARDER, B. (1924 a) publica en la revista La Almudaina “El origen de los deslizamientos de tierras en Fornalutx”, donde comienza el texto aludiendo a movimientos de ladera anteriores en la isla. El autor analiza en esta publicación los aspectos geológicos de la ladera de Fornalutx y las causas desencadenantes de este deslizamiento, que tuvo lugar en la madrugada del 21 de diciembre de 1924.

ICONA (1977) realiza un estudio geotécnico del margen izquierdo del Torrente de Fornalutx, en base a los deslizamientos ocurridos en fechas anteriores. Se obtienen numerosos datos de caracterización geotécnica de los materiales que constituyen la ladera, y se realiza un cálculo de estabilidad de la misma aplicando el método de BISHOP.

La DIRECCIÓN GENERAL DE PUERTOS Y COSTAS DEL MOPU (1980) en el trabajo “Plan Indicativo de Usos del Dominio Público Litoral”, realiza una cartografía a escala 1:50,000 del litoral de la Serra de Tramuntana, donde se recogen los siguientes aspectos: geología, litología, geomorfología, datos estructurales y geotecnia. Puede considerarse el primer documento que representa una zonificación de esta costa en base al riesgo a los movimientos de ladera y otros problemas geotécnicos.

C.O.P.O.T y U.I.B. (1988) realizan el “Pla Territorial Parcial de la Serra de Tramuntana”, dedicando un apartado a los riesgos geológicos con fines a la ordenación territorial. En este trabajo se desarrolla una metodología específica para evaluar el riesgo de caída de bloques y deslizamientos en la Serra de Tramuntana. Se representa un mapa de riesgos a los movimientos de ladera (más bien de susceptibilidad), donde se zonifica la Serra de Tramuntana en tres grados de riesgo: alto, medio y bajo, a la caída de bloques y deslizamientos.

El I.T.G.E. (1992) realiza el primer mapa geotécnico a escala 1:25,000 para la ordenación territorial y urbana de las zonas de Palma de Mallorca e Inca. En el “Mapa de factores geológicos con incidencia constructiva” se dedica un cierto peso a los riesgos geológicos, contemplando los siguientes: deslizamientos en zonas margosas, hundimientos sobre oquedades kársticas, desprendimiento de cantos en taludes artificiales y acción erosiva de posibles oleajes excepcionales.

GRIMALT, M. (1992) dedica en su Tesis Doctoral un apartado a los riesgos geomorfológicos en la Isla de Mallorca, haciendo una recopilación histórica de la ocurrencia de movimientos de ladera en la isla y los daños y afecciones causados.

FERRER et al. (1997) realizan un estudio analítico de los desprendimientos rocosos que afectan a la Cala de Banyalbufar, a raíz del desprendimiento acontecido en el mismo lugar en septiembre de 1993.

El I.T.G.E (1998) realiza un estudio detallado de la Cala de Banyalbufar, con objeto de establecer una serie de medidas correctoras para su estabilización. Se lleva a cabo un análisis de estabilidad del talud aplicando el método de los elementos finitos.

MATEOS (1998) analiza diversos aspectos geotécnicos de la Serra de Tramuntana, así como los riesgos asociados a la inestabilidad de laderas en diversos puntos del litoral.

### **1.3. - OBJETIVOS**

Los objetivos generales de este trabajo son los siguientes:

- Identificar, describir e inventariar los procesos de inestabilidad de laderas: tipologías de movimientos, modelos y mecanismos de rotura.
- Caracterizar geomecánicamente los diferentes materiales que constituyen la Serra de Tramuntana. Conocer sus propiedades y características físicas, geológicas e hidrogeológicas.
- Identificar los factores condicionantes de cada tipo de inestabilidad.
- Establecer una metodología para el análisis de la susceptibilidad por movimientos de ladera en la zona de estudio, que sea aplicable a otras zonas de trabajo.
- Conocer la dinámica litoral de la costa norte de Mallorca y establecer sus relaciones con el retroceso general de los acantilados. Relacionar la sedimentación en el margen litoral de la plataforma continental con la dinámica de laderas en superficie.
- Identificar los factores desencadenantes de los procesos de inestabilidad.
- Predicción temporal de ocurrencia de movimientos.
- Estimación de la peligrosidad por movimientos de ladera en la zona de estudio.



Lugar	Fecha	Tipo movimiento	Daños y afecciones	Víctimas mortales	Causa	Ref. Bibliográfica
Montission (Porreres)	22 de febrero de 1681	Hundimientos	Hundimiento de 5 viviendas.		¿Lluvias?	Campaner. 1881
Biniarroy (Mancor del Valle)	24 de Marzo de 1721	Deslizamiento de tierras	Tierras de cultivo. Abandono del núcleo de población		¿Terremoto?	Mateu, B.1914
Carretera Pollença-lluc	1749	Derrumbe de bancales	Tierras de cultivo	Muerte de un labrador y su yunta	Lluvias	Fontseré, 1918
Sóller	1795	Desprendimiento masivo de rocas	Camino Palma-Sóller	Diversos Viandantes		Bover .1856
Sóller	25 de noviembre de 1810	Desprendimientos	Camino Palma-Sóller.		¿Lluvias?	Bover. 1856
Biniarroy (Mancor del Valle)	1816	Deslizamiento de tierras	Predio Sa Fontgarrove		¿Terremoto?	Mateu, B.1914
Felanitx	31 de Marzo de 1844	Deslizamiento de un terraplén	Procesión de Via Crucis	424 víctimas	Lluvias, aglomeración de gente	Llabrés.1962
Lluch-Alcari	1853?	Deslizamiento			¿Lluvias intensas?	Darder,B. 1924
Orient (Bunyola)	1854?	Deslizamiento	Olivares		¿Lluvias intensas?	Darder,B.1924
Coll de Sóller	16 de Marzo de 1857	Desprendimiento masivo de rocas	Posesión des Teix, olivar d'En Xorc		¿Lluvias?	Llabrés,1962
Fornalutx	21 de Dic. 1924	Deslizamiento			Lluvias intensas	Darder, B.1924
Estellencs	1931	Deslizamiento	Varias casas de la población		¿Lluvias?	Grimalt. 1990
Palma, Puig de Sant Pere	11 de Enero de 1963	Deslizamiento de tierras	Destrucción del muro de contención del baluarte. Corte del curso de Sa Riera		Lluvias continuas y erosión del pie del talud por las avenidas del Torrente de Sa Riera	Diario de Mallorca 12 / 01/ 03
Estellencs	25 de septiembre de 1971	Deslizamientos y desprendimientos	Corte de la carretera. Incomunicación del pueblo de Estellencs		Intensas lluvias	Diario de Mallorca 26/ 09/ 71
Esporles, Banyalbufar, Bunyola	31 de diciembre de 1973	Deslizamientos y desprendimientos	Corte carretera Esporles-Banyalbufar. Corte del ferrocarril Palma- Sóller a la altura de Bunyola		Lluvias intensas > 200mm	Diario de Mallorca 03/ 01/ 1973
Valldemossa, Esporles, Estellencs	29 de Marzo de 1974	Deslizamientos	Corte carretera Palma-Valldemossa y del camino Esporles- Estellencs		Temporal de lluvias	Diario de Mallorca. 31/ 03/ 74
Palma, Jonquet	Otoño 1962, 4 de junio y 13 de julio de 1977	Deslizamientos	Destrucción de molinos de harina, casa y corral		Lluvias intensas	Diario de Mallorca 05/ 06/ 77
Palma, Palacio de la Almudaina	30 de Agosto de 1977	Deslizamiento	Derrumbamiento de un muro de contención del Palacio en la zona conocida como Hort del Rei		Lluvias continuadas	Diario de Mallorca 31/ 08/ 77
Deià	18 y 19 de Octubre de 1978	Deslizamiento de una ladera sobre la que se asienta el pueblo	Desalojo de diversas casas y hundimiento de Sa Coma de Can Pebo		Temporal de lluvias. Pp> 500mm	Serrat, 1985
Lluc	1 de marzo de 1979	Deslizamiento	Corte carretera Lluc-Pollença		Temporal de lluvia y nieve	Balears, 02/ 03/ 79
Port de Valldemossa	29 de septiembre de 1984			Sí		Diario de Mallorca 30/ 09/ 84
Calvià	15 de Noviembre de 1985	Deslizamientos	Corte carretera Palma- Andratx		Temporal de lluvias	Diario de Mallorca 16/ 11/ 85
Palma, Jonquet	20 de Noviembre de 1985	Deslizamiento	Paseo Marítimo. Destrucción de numerosos coches aparcados en la zona		Continuas e intensas lluvias > 117 mm	Diario de Mallorca 20/ 11/ 85
Coll de Sóller	18 de febrero de 1987	Deslizamiento de tierras	Carretera Palma- Sóller, altura Ses Porxeres.		Lluvias continuadas	Última Hora 18/ 02/ 1987
Banyalbufar	Septiembre 1993	Deslizamiento en cuña, desprendimiento	Alcobas para barcas en la Cala de Banyalbufar		Lluvias continuadas Pp>150 mm	Ferrer et al, 1997
Cap de Formentor	Septiembre 1994	Desprendimiento rocoso	Carretera Cap de Formentor	1 muerto	Lluvias	Diario de Mallorca
Sa Costera (Escorça)	Septiembre 1997	Desprendimientos rocosos	Corte carretera de acceso a Sa Costera. Evacuación de turistas por vía marítima		Lluvias	Diario de Mallorca
Sóller (Urb. De la Filadora)	9 de febrero de 1999	Corrimiento de tierras	4 camiones sepultados		Temporal de lluvia y nieve. Intensas lluvias	Última Hora 10/ 02/ 1999

Cuadro 1. Recopilación histórica de los movimientos de ladera que han tenido lugar en la Isla de Mallorca y sus causas y efectos.



## **Capítulo 2**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1- ANTECEDENTES Y CONTEXTO METODOLÓGICO**

Los procesos de inestabilidad de laderas, debido a su gran extensión y frecuencia en todas las regiones climáticas del globo, han recibido mayor atención que otros riesgos geológicos. Se han desarrollado numerosos métodos y técnicas de trabajo para abordar el estudio de los movimientos de laderas y las zonas afectadas.

Los trabajos de inestabilidad por movimientos de ladera se han enfocado principalmente hacia el estudio de los procesos inestables, sus causas y mecanismos, y hacia la realización de cartografías con la finalidad de delimitar y caracterizar las zonas problemáticas y afectadas.

La mayoría de las cartografías actuales de susceptibilidad y peligrosidad por movimientos de ladera tienen como base de partida el trabajo de VARNES (1984), donde se establecen los principios básicos para abordar este tipo de estudios y se desarrolla una metodología de trabajo basada en el estudio de los factores condicionantes y desencadenantes de estos fenómenos. Destacan otros autores como CARRARA (1983, 1984), BRABB (1984) y BONNARD & NOVERRAZ (1984) que han desarrollado y publicado cartografías y metodologías adecuadas para la estimación de la peligrosidad por movimientos de ladera.

En España, autores como COROMINAS (1988), IRIGARAY (1995), CHACÓN et al (1995) y MATEOS Y FERRER (1994), desarrollan diferentes criterios para la confección de mapas de peligrosidad de movimientos de ladera encaminados a estimar la localización, tipo, magnitud y ocurrencia temporal de los movimientos.

Aunque existen diversas técnicas para elaborar este tipo de cartografías, todas ellas se basan en el principio del actualismo: “el pasado y el presente son la clave del futuro”. Esto significa que los movimientos de ladera que puedan ocurrir en el futuro es muy probable que lo hagan en las mismas condiciones geológicas, geomorfológicas e hidrológicas que los movimientos antiguos o actuales, VARNES (1984).

La metodología de trabajo que se propone, pretende cubrir cuatro aspectos fundamentales:

- Localización e identificación de la inestabilidad.
- El conocimiento de las condiciones en las que se producen los fenómenos inestables.
- El comportamiento de la masa inestable.
- La potencialidad del fenómeno.

Para cumplir los objetivos propuestos, la metodología de trabajo se centra en el desarrollo de dos campos principales de investigación:

*a) Evaluación de la susceptibilidad por movimientos de ladera*

La susceptibilidad por movimientos de ladera se puede definir como la mayor o menor tendencia a que se genere un movimiento de ladera, en una zona específica y en un futuro no determinado, en función de la correlación de los factores determinantes de la inestabilidad con la distribución espacial de los movimientos, BRABB (1984).

*b) Predicción temporal de la ocurrencia de los movimientos*

En las áreas susceptibles de sufrir movimientos de ladera, el que un movimiento tenga o no lugar dependerá de un conjunto de factores externos o desencadenantes. El método empleado para estimar la potencialidad del fenómeno en este trabajo está basado en la correlación directa con las precipitaciones, aunque no se desestima el estudio de otros factores desencadenantes.

## **2.2- ESQUEMA Y PROCESO DE TRABAJO**

El objetivo final de esta investigación es la evaluación de la peligrosidad por movimientos de ladera en la zona de estudio, que comprende un área de 360 Km<sup>2</sup> en el margen litoral de la Serra de Tramuntana de la Isla de Mallorca.

Debido a las características de la zona de estudio, la presencia del mar como agente erosivo y el proceso asociado de retroceso de acantilados, así como la importancia de los cambios eustáticos a lo largo del Cuaternario en el modelado de este margen litoral, determinan un aspecto adicional a los trabajos clásicos de análisis de la peligrosidad por movimientos de ladera. En este sentido, el estudio de la dinámica y sedimentación litoral será un elemento clave para entender los procesos de inestabilidad pasados y presentes.

El esquema general de trabajo se presenta en el Cuadro 2, donde queda patente la diferenciación de los dos campos principales de trabajo: análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en la zona de estudio y predicción temporal de los fenómenos inestables.

### **2.2.1- Análisis de la susceptibilidad**

Para abordar este apartado a una escala media de trabajo (1:25,000), se ha dividido el área de estudio en tres zonas, cuyo límite suroriental queda siempre delimitado por la divisoria de aguas de la Serra de Tramuntana y el noroccidental por la batimétrica marina de -50m. Las zonas se han dividido fundamentalmente en base a criterios de similitud geológica y teniendo en cuenta los límites de las cuencas hidrográficas (en numerosos casos coincide con los límites de los términos municipales).



Las tres zonas definidas son las siguientes:

- Zona de Estellencs – Banyalbufar. Comprende desde el extremo meridional del término municipal de Estellencs hasta el límite septentrional de la cuenca de Banyalbufar. Superficie aproximada de 65 Km<sup>2</sup>
- Zona de Esporles – Deià. Comprende desde el Port des Canonge hasta el límite NE de la Cuenca de Deià, incluidas las poblaciones de Esporles y Valldemossa. Superficie aproximada de 135 Km<sup>2</sup>
- Zona de Sóller. Comprende toda la Cuenca de Sóller hasta Cala Tuent. Superficie aproximada de 160 Km<sup>2</sup>

El análisis de la susceptibilidad se inicia con un estudio detallado de todos aquellos factores condicionantes o determinantes de la inestabilidad en cada una de las zonas definidas. Para ello se parte de una recopilación inicial de la información existente y de las herramientas de trabajo disponibles.

#### *2.2.1.1. Análisis de los factores condicionantes de la inestabilidad*

- **Geología**

Se ha tomado como base de partida la cartografía geológica realizada por GELABERT (1998) a escala 1: 25,000, completando algunos aspectos litológicos con la cartografía M.A.G.N.A. del I.T.G.E (1991) y el propio trabajo de campo realizado.

En el Capítulo 4 de esta Tesis, se describe la geología de la Serra de Tramuntana, profundizando en las litologías que constituyen las distintas formaciones y la estructura geológica.

- **Pendientes**

Tomando como base de partida las hojas cartográficas 1:25, 000 del I.G.N., se ha realizado un mapa de pendientes en cada una de las zonas definidas. Los intervalos de pendientes considerados para la zonificación han sido:

- |             |             |
|-------------|-------------|
| - < 5°      | - 20° - 35° |
| - 5° - 10°  | - 35° - 50° |
| - 10° - 20° | - > 50°     |

No se ha tenido en cuenta el grado de incidencia de radiación solar en las laderas (solaridad), ya que las laderas de este margen de la Serra quedan orientadas al SW o al NE, recibiendo a lo largo del año aproximadamente el mismo número de horas de radiación solar.

- Vegetación y usos del suelo

Se han actualizado con fotografía aérea (vuelo de STOP, 1990; escala 1:18,000) los mapas de cultivos y aprovechamientos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de la zona a escala 1: 50,000 (1988). El resultado es un mapa de vegetación y usos del suelo a escala 1: 25,000, donde se han diferenciado los siguientes grupos de vegetación en relación a su contribución al sostenimiento del suelo:

- Matorral
- Pinar denso, localmente con encinar
- Encinar, localmente con pinar
- Cultivos de secano (olivar principalmente). Aterrazamiento del terreno.
- Pequeños huertos y cultivos de regadío
- Zona urbanizada

- Propiedades físicas y características geomecánicas de los materiales

Para el análisis de este conjunto de factores condicionantes no se ha contado con ningún trabajo previo, por no existir información al respecto. Tomando como base de partida la recopilación de datos geotécnicos de laboratorio de más de 25 sondeos a lo largo de la Serra de Tramuntana, la realización propia de numerosos ensayos de laboratorio en muestras obtenidas en campo y la toma directa en campo de algunos parámetros geotécnicos, se ha podido caracterizar desde el punto de vista físico y geomecánico el comportamiento de los distintos materiales que constituyen la Serra de Tramuntana. Esta caracterización se recoge en el Capítulo 6 de este trabajo.

De algunos materiales se dispone de numerosos datos de los parámetros de resistencia, incluidos los relativos a resistencia al corte; mientras que de otros se han tenido que estimar éstos en función de los datos de campo.

El valor de resistencia a compresión simple medio de cada conjunto o unidad litológica se ha utilizado para clasificar geotécnicamente los diferentes materiales, siguiendo los criterios marcados por DE FREITAS (1992). Como resultado se ha realizado un mapa litológico - geotécnico a escala 1:25,000 en cada una de las tres zonas definidas, diferenciando las siguientes unidades de clasificación:

- Suelos muy blandos y extremadamente blandos
- Suelos moderadamente blandos y blandos
- Rocas blandas
- Rocas blandas- moderadamente duras
- Rocas moderadamente duras- rocas duras

- Hidrogeología

La presencia de agua en los materiales que constituyen las laderas y taludes da lugar a efectos negativos en la estabilidad de los mismos, especialmente en suelos cohesivos donde el contenido en humedad puede variar los parámetros de resistencia al



corte al aumentar las presiones intersticiales, o en macizos rocosos donde la estabilidad de la ladera se ve especialmente afectada por la presencia de agua en las discontinuidades.

Tomando como punto de partida el mapa geológico y conociendo el comportamiento hidrogeológico de las diferentes litologías que constituyen los materiales de la Serra de Tramuntana, se han elaborado mapas de permeabilidad a escala 1:25,000, zonificando el terreno en los siguientes grupos:

- Terrenos permeables por fisuración y/o karstificación
- Terrenos permeables por porosidad
- Terrenos de permeabilidad media- baja (acuitardos).
- Terrenos de muy baja permeabilidad

Se ha recogido además la ubicación de las fuentes y manantiales, así como los pozos existentes, recopilando del inventario del I.T.G.E. los datos referentes a caudales (fuentes y manantiales), profundidad del nivel freático y calidad del agua subterránea.

## • Geomorfología e inventario de movimientos de ladera

Un análisis detallado de las fotografías aéreas de la zona de estudio: vuelo en blanco y negro del Servicio Geográfico del Ejército (1956), a escala 1:33,000 y un vuelo más actual a color de la Empresa STOP (1990), a escala 1:18,000, ha permitido la realización de un mapa morfogenético a escala 1:25,000 en cada una de las tres zonas delimitadas, siguiendo los criterios de PEDRAZA (1997) para la elaboración de este tipo de cartografías.

Se han tenido en cuenta seis ámbitos:

- Tectónico. Morfologías ligadas a estructuras de origen tectónico: escarpes de falla, cima anticlinal, depresión sinclinal etc....
- Litoral. Morfologías ligadas a la erosión litoral: línea de acantilados activos, acantilados colgados etc....
- Fluvial (torrencial): morfologías ligadas a la acción de los torrentes: cárcavas de erosión, abanicos aluviales etc....
- Kárstico: morfologías asociadas a procesos de disolución kárstica: dolinas, lapiazes, cañones kársticos etc....
- Gravitacional: morfologías asociadas a movimientos de laderas: deslizamientos, flujos, frentes de caída de rocas etc....
- Otros. En este ámbito se incluyen morfologías tales como: conos de derrubios, canchales (muy relacionados ambos con frentes de caídas de rocas); así como otras de origen antrópico: canteras, excavaciones etc....

Para completar la elaboración de estos mapas morfogenéticos, y como objetivo primordial de este trabajo, se ha llevado a cabo una exhaustiva labor de campo con la finalidad de identificar y caracterizar, a pequeña escala, los movimientos de ladera que afectan a este litoral.

En los Anexos de este trabajo (Anexo I), se recogen más de 50 fichas de movimientos de laderas y taludes inventariados en campo, con datos de localización, tipo de movimiento, volumen desplazado etc. El resultado es un mapa mixto, morfogenético e inventario de los movimientos de ladera antiguos y actuales.

- **Dinámica y sedimentación litoral**

Dada la importancia de la erosión marina producida por el oleaje en la base de los acantilados costeros, y su efecto en la aceleración de los procesos desestabilizadores de éstos, se ha considerado de gran interés en este trabajo dedicar un capítulo a la dinámica y sedimentación en el litoral de la zona de estudio.

Tomando como base de partida los datos de dos estudios realizados por el MOPT- DIRECCIÓN GENERAL DE COSTAS: “Estudio geofísico marino de la Costa Norte de la Isla de Mallorca (1992) y “Campaña de sondeos marinos en la Costa Norte de Mallorca” (1993), se ha realizado en cada una de las tres zonas de estudio un mapa de dinámica y sedimentación litoral a escala 1:25,000, donde se representa la siguiente información:

- Espesor de sedimentos recientes no consolidados.
- Litología y tamaño de grano del sedimento. Origen del aporte y grado de retrabajamiento del sedimento.
- Corrientes que afectan al litoral, con valores de velocidad máxima. Dirección de transporte del sedimento.
- Rosa de los vientos y del oleaje que afecta al litoral.

#### *2.2.1.2. Análisis de la Susceptibilidad*

La metodología desarrollada en este trabajo para el análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera (Capítulo 9), permite evaluar la inestabilidad potencial relativa en una zona amplia, y es aplicable en cualquier contexto geográfico. Se basa en los denominados “**Círculos de susceptibilidad**”, fundamentados en la identificación de los factores que determinan la inestabilidad para cada tipo de mecanismo de rotura y en dar a cada uno de ellos un peso en función de su contribución a la inestabilidad. De esta forma, se construye un círculo para cada tipo de movimiento dividido en sectores, donde cada sector representa un factor condicionante: litología, pendientes etc. y cuya apertura de sector es directamente proporcional al “peso” o importancia de ese factor en la inestabilidad. Así, a modo de ejemplo, los desprendimientos rocosos están condicionados en mayor medida por la pendiente (en zonas altas convexas) y la litología (rocas duras carbonatadas), así como por el grado de alteración superficial y tectonización del material; y en menor medida por la vegetación y la permeabilidad del terreno. En la Figura 2 se representa el “Círculo de susceptibilidad” construido para desprendimientos rocosos.

Si se observan los “Círculos de susceptibilidad”, las divisiones de cada sector están colocadas de tal forma que permiten establecer los grados de susceptibilidad: a medida que nos acercamos al centro del círculo, mayor es la susceptibilidad a la generación de ese tipo de movimiento.



El valor de la susceptibilidad se expresa en los siguientes grados:

- Susceptibilidad **nula - baja**: la combinación de factores condicionantes en una zona se refleja en la zona externa del “Círculo de susceptibilidad”.
- Susceptibilidad **media**: la combinación de los factores condicionantes se refleja en la zona intermedia del “Círculo de susceptibilidad”.
- Susceptibilidad **alta – muy alta**: la combinación de los factores condicionantes se refleja en la zona interna del “Círculo de susceptibilidad”.

El objetivo final de esta metodología es elaborar un mapa de susceptibilidad a los movimientos de ladera a escala 1:25,000, en cada una de las tres zonas en las que se ha dividido el área de estudio, que engloba todos los tipos de movimientos que puedan producirse.

### 2.2.2. - Análisis de la peligrosidad.

Para la estimación de la peligrosidad es necesaria la predicción espacial y temporal de los movimientos de ladera. La predicción espacial se realiza mediante el análisis de la susceptibilidad anteriormente descrito. La predicción temporal requiere un análisis de todos los factores externos o desencadenantes de los movimientos.

Los factores desencadenantes de los movimientos de ladera analizados en este trabajo (Capítulo 10) son los siguientes:

- Precipitaciones
- Erosión litoral.
- Sismicidad
- Acciones antrópicas: minería e infraestructuras

La predicción temporal, como análisis de la potencialidad del fenómeno, se ha llevado a cabo en base a métodos basados en la correlación directa con las lluvias, ya que como se verá más adelante, las precipitaciones intensas son el principal agente desencadenante de los movimientos.

Para el análisis de la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones intensas en la Serra de Tramuntana, se han utilizado los datos de precipitaciones máximas registradas en 24 horas en un total de 12 estaciones meteorológicas, distribuidas homogéneamente por todo el sector de estudio. El análisis de las frecuencias de ocurrencia de lluvias y sus intensidades se realiza mediante la aplicación de distribuciones estadísticas de valores máximos, siendo la distribución doble exponencial o de Gumbel la más universalmente empleada, y la utilizada en este trabajo. El resultado es la confección de diversos mapas de precipitaciones máximas en 24 horas en la Serra de Tramuntana, esperables para diferentes períodos de retorno.

La recopilación histórica de movimientos de ladera en la Serra de Tramuntana, permite conocer aproximadamente los valores de precipitaciones máximas que han desencadenado los diferentes tipos de movimientos. El análisis estadístico de las precipitaciones establece el período de retorno de esos valores de precipitaciones “desencadenantes” en diferentes áreas de la Serra. De esta forma, se obtiene la respuesta a ¿cuándo? pueden producirse los movimientos.

# CÍRCULOS DE SUSCEPTIBILIDAD Desprendimientos rocosos

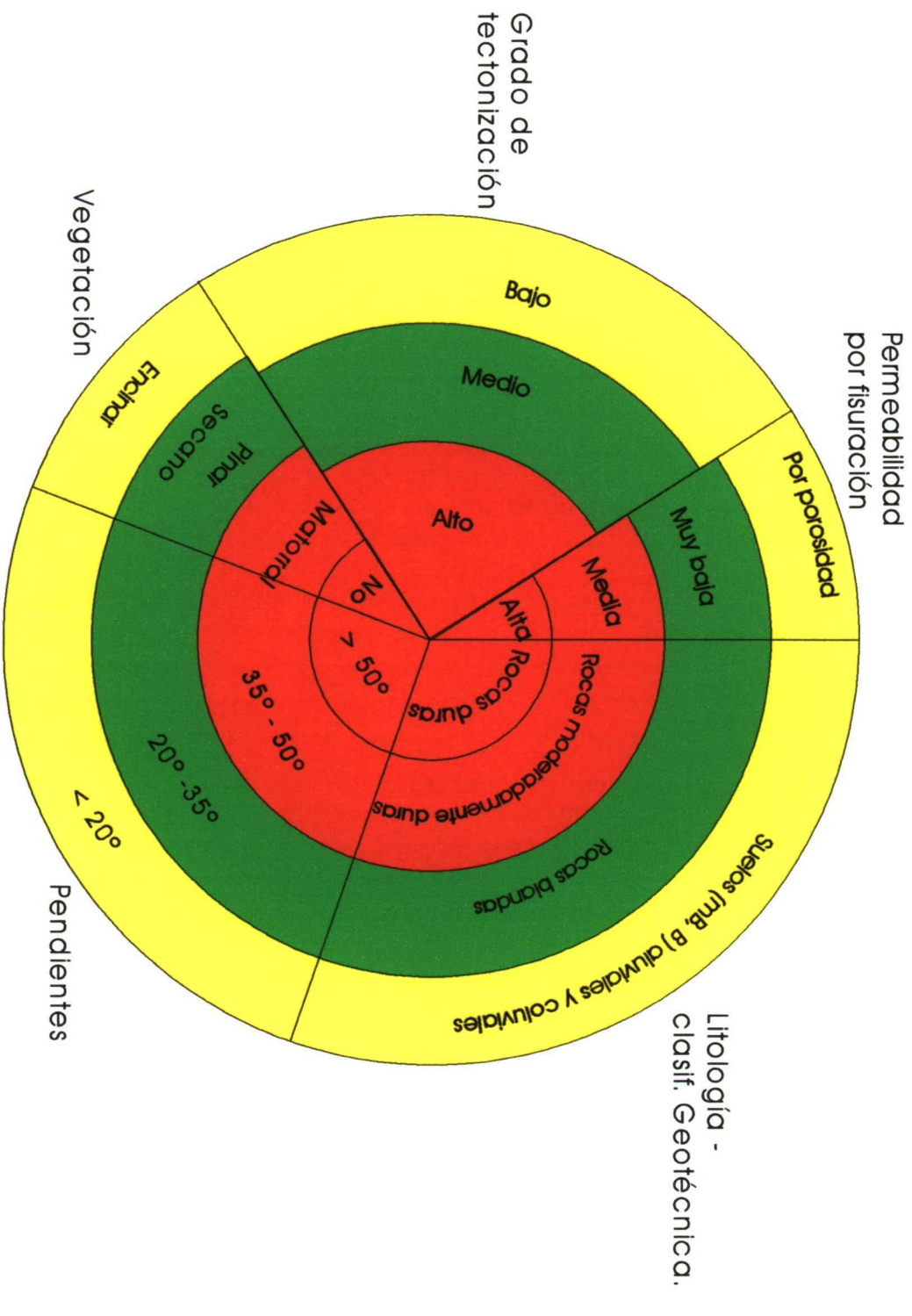
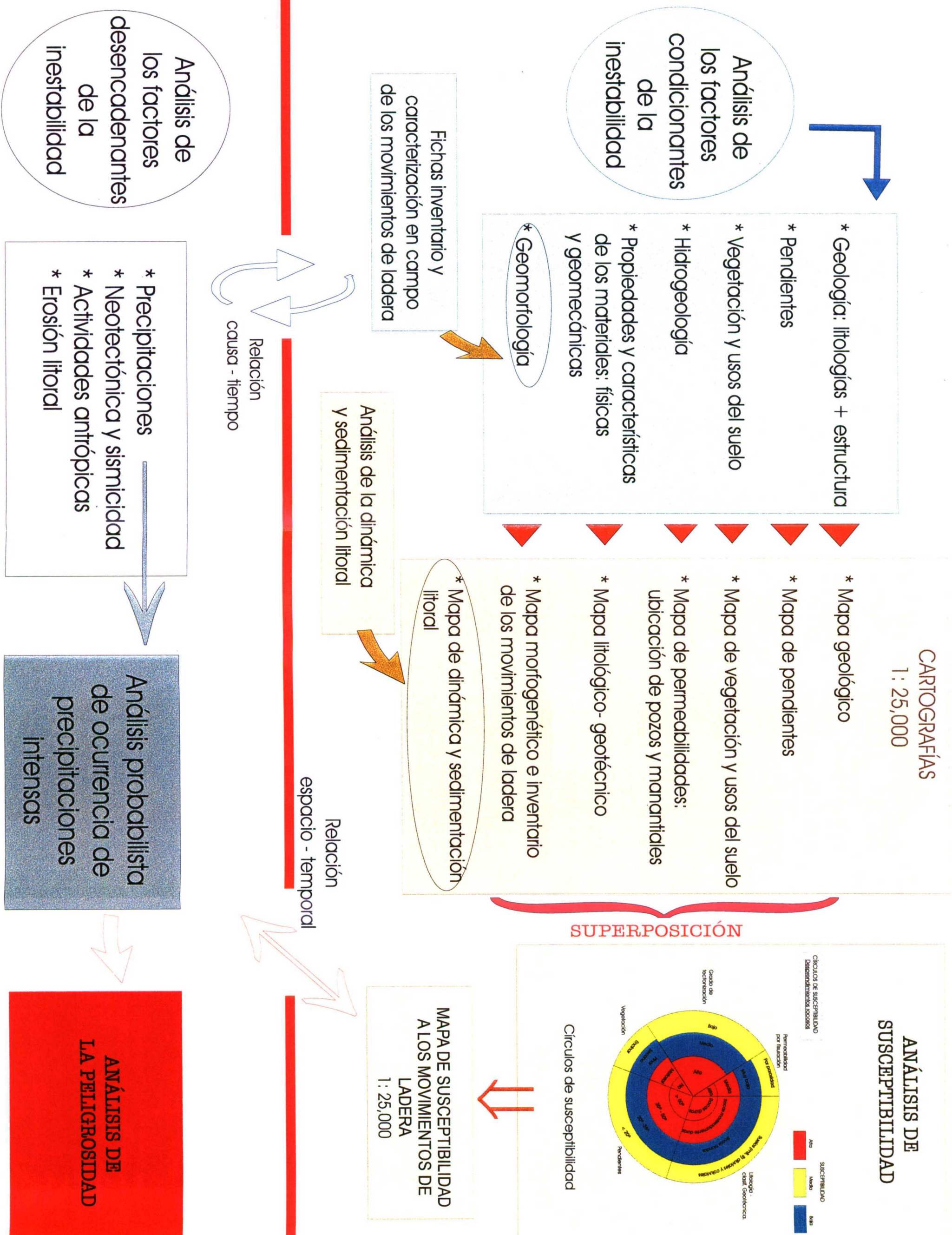


Fig. 2. Círculo de susceptibilidad para desprendimientos rocosos





## Cuadro 2. Metodología



## Capítulo 3

### MARCO GEOGRÁFICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

#### 3.1- SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El Archipiélago Balear se localiza en el Mediterráneo occidental, situado entre los meridianos 1°09' (Es Vedrà, Ibiza) y 4°23'46" (Cap de la Mola, Menorca) y los paralelos 38°38'25" (Cap de Barbaria, Formentera) y 40°05'39" (Isla des Porros, Menorca). Al NO queda limitado por el Arco de Valencia, al NE por Córcega y Cerdeña y al S por la Cuenca Argelina (Fig. 3).

El Archipiélago Balear lo constituyen cuatro islas principales: Mallorca (72,6% del territorio Balear), Menorca (14%), Ibiza (10,79%) y Formentera (1,64%), así como todo un conjunto de pequeñas islas e islotes deshabitados.

Entre el conjunto de las islas mediterráneas, Mallorca y Menorca son las que presentan una mayor lejanía con respecto a las costas continentales más inmediatas, pasando a ser el "conjunto insular más aislado del Mediterráneo".

La isla de Mallorca es la mayor del Archipiélago Balear, con una superficie de 3667 Km<sup>2</sup>, incluyendo algunos islotes adyacentes, el mayor de los cuales es La Dragonera. Al sur de la isla de Mallorca se encuentra el pequeño archipiélago de Cabrera, cuya isla principal (Cabrera Gran) tiene una extensión de 15,7 Km<sup>2</sup>.

La Isla de Mallorca presenta una forma casi cuadrangular, con dos importantes entrantes al SW y NE, que corresponden respectivamente a las Bahías de Palma y Alcúdia. Las dimensiones máximas de la isla son de 95 Km desde su extremo occidental (Sant Elm) hasta el oriental (Cap de Capdepera) y de 79 km desde el punto más septentrional (Morro de Cataluña) hasta el más meridional (Cap de Ses Salines).



Fig. 3. Situación del Archipiélago Balear en el Mediterráneo occidental. BOURROUILH, 1983

Desde el punto de vista morfológico, en la isla de Mallorca se pueden diferenciar tres unidades principales (Fig.4):

- La Serra de Tramuntana
- Las Serres de Llevant
- Los Llanos Centrales

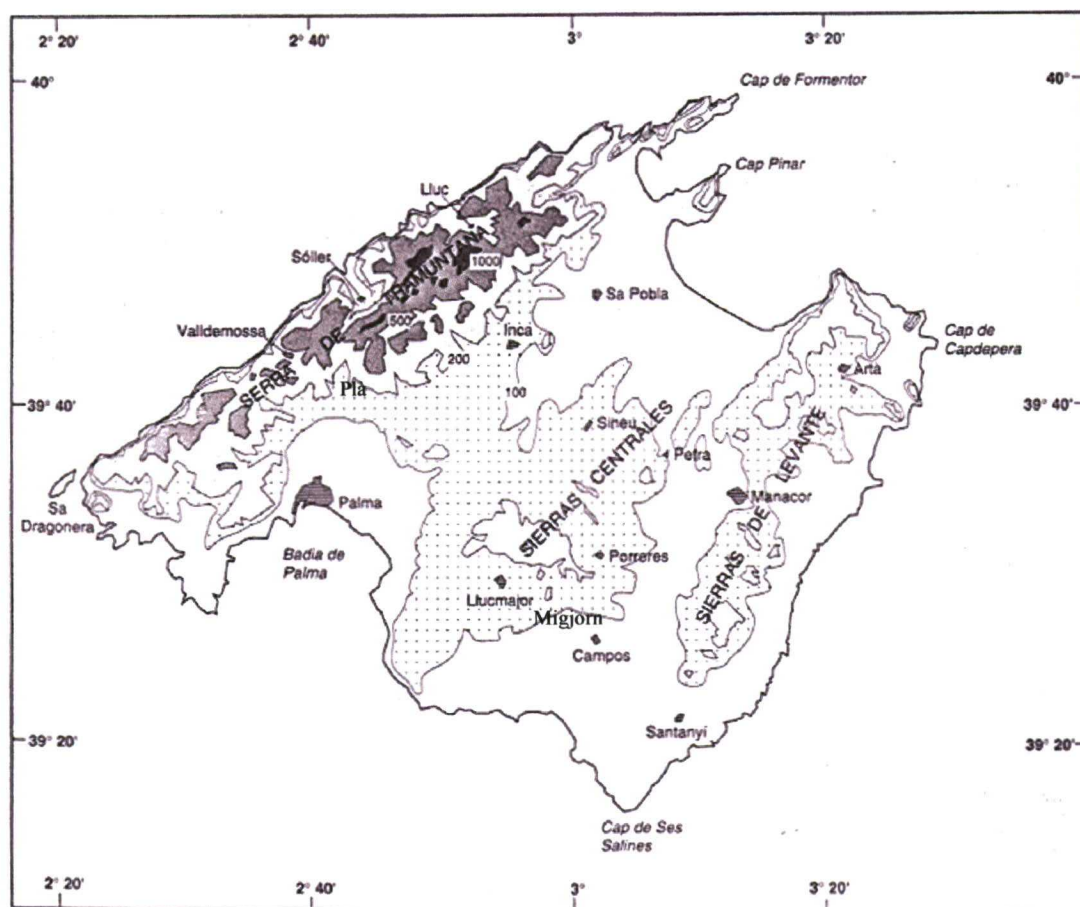


Fig.4. Mapa topográfico de la Isla de Mallorca, donde se diferencia las tres unidades morfológicas principales. GELABERT (1998)

### 3.1.1. - La Serra de Tramuntana

Es una alineación montañosa paralela a la costa noroccidental de la isla, con una orientación NE-SO. Presenta una amplitud media de 15 Km y una longitud máxima de 89 Km, desde el extremo más meridional (Sa Dragonera), hasta el más septentrional (Cap de Formentor). La línea de cumbres supera los 600 m, siendo el sector central el más elevado, con 10 cimas por encima de los 1000 m (Puig Major, 1445m, Puig de Massanella, 1348 m, Galatxó, 1025 m).



La estructura geológica de la Serra de Tramuntana condiciona enormemente la geomorfología de esta cadena montañosa, destacando los siguientes aspectos:

- La vergencia de los mantos de cabalgamiento hacia el NO determina una asimetría entre la vertiente meridional de la Serra, generalmente menos abrupta, y la septentrional más escarpada y con gran desarrollo de acantilados.
- La costa Norte resulta muy poco articulada y únicamente se ve interrumpida por el entrante del Port de Sóller. La costa es muy dinámica y no existe desarrollo de playas, tan sólo pequeñas calas, en ocasiones relacionadas con la desembocadura de torrentes.
- El conjunto plegado de la Serra presenta alineaciones de relieves separados por valles longitudinales de cierta entidad (Lluc, Orient etc.). En los extremos de la Serra estos valles se abren al mar, como el valle de Son Marc (Pollença) y diversos valles surorientales (Son Vic, Galatzó etc.).

### **3.1.2. -Las Serres de Llevant**

Constituye otra alineación montañosa de dirección NE-SO de 46 Km de longitud, que se extiende desde la Península de Artá hasta la Isla de Cabrera. Presenta una topografía mucho menos abrupta que la Serra de Tramuntana, con suaves colinas que apenas superan los 500 m de altitud (Morell, 562 m, Ferrutx, 519 m). La impresión de continuidad se rompe, tanto por la complejidad de su estructura, como por la existencia de una plataforma miocénica postorogénica de la que únicamente surgen los puntos culminantes de estas sierras, llegando incluso a desaparecer éstas bajo los sedimentos miocenos en el espacio entre Santanyí y la Isla de Cabrera.

Morfológicamente, las Serres de Llevant aparecen divididas en dos bloques separados por el llamado corredor de Son Carrió, que individualiza el bloque septentrional (Artá, Sant Llorenç y Capdepera) del meridional (Manacor, Felanitx y Santanyí).

### **3.1.3. -Los Llanos Centrales**

Comprende una amplia zona situada entre ambas sierras, dentro de la cual pueden diferenciarse tres dominios geomorfológicos principales (Fig.4):

- *El Raiguer*. Constituye un corredor adosado a la vertiente meridional de la Serra de Tramuntana y viene determinado por una falla normal de recorrido aproximado Palma-Alcúdia. Geomorfológicamente esta zona corresponde a un conjunto de abanicos aluviales coalescentes asociados al funcionamiento de los torrentes.
- *El Pla (llano)*. Constituye la zona más interna de los Llanos Centrales y ocupa el espacio comprendido entre el Raiguer y las Serres de Llevant. En algunos puntos afloran los materiales inferiores plegados, lo que provoca un relieve variado donde alternan llanuras de pequeñas dimensiones con elevaciones aisladas y desgastadas.

- *Es Migjorn*. Es un área de relieve prácticamente nulo en el extremo suroriental de la isla, exceptuando las formas producidas por la erosión torrencial, que excavan barrancos de notable desarrollo aprovechando alineaciones estructurales.

### 3.2- LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra en el margen litoral de la Serra de Tramuntana. Comprende una longitud de costa que va desde el límite meridional del término municipal de Estellencs hasta Cala Tuent (en el término municipal de Escorça), unos 40 Km lineales de costa. La anchura de la zona de estudio queda definida desde la batimétrica marina de -50m hasta la divisoria de aguas de la Serra de Tramuntana, una media de 9 Km. La superficie de la zona de estudio se estima en unos 360 Km<sup>2</sup> (Fig.5).

De SW a NE, la zona continental de estudio comprende los términos municipales de Estellencs (13,4 Km<sup>2</sup>), Banyalbufar (18,1 Km<sup>2</sup>), la mitad septentrional del término municipal de Esporles (17 Km<sup>2</sup>), gran parte del término municipal de Valldemossa (35 Km<sup>2</sup>), los términos municipales de Deià (15,2 Km<sup>2</sup>), Sóller (42,8 Km<sup>2</sup>) y Fornalutx (19,5 Km<sup>2</sup>), así como el extremo meridional del término municipal de Escorça (18 Km<sup>2</sup>).

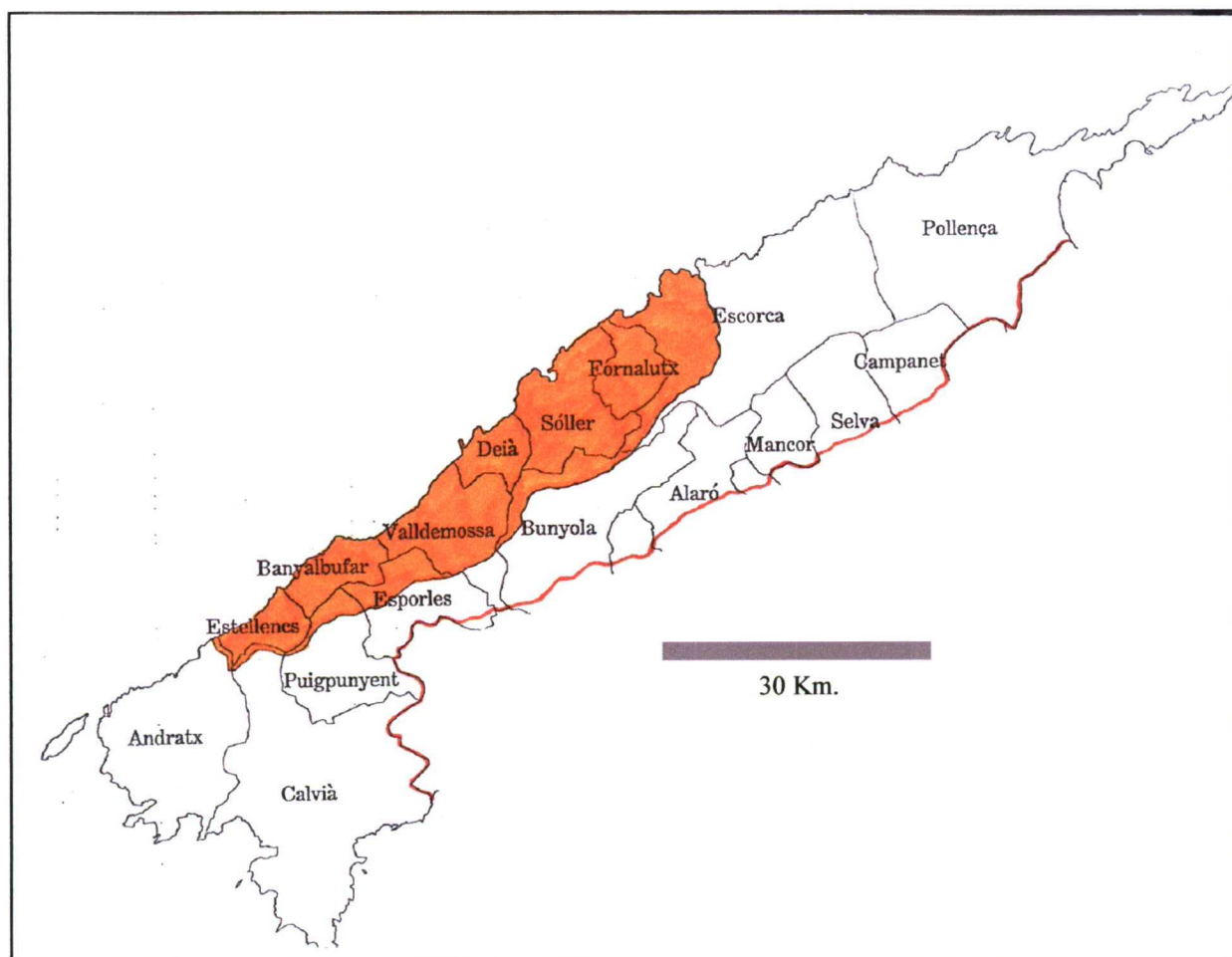


Fig.5. Localización de la zona de estudio en el contexto de la Serra de Tramuntana (área coloreada)



### 3.3- CONDICIONES CLIMÁTICAS DE LA ISLA DE MALLORCA

Las particulares condiciones de la cubeta mediterránea occidental, rodeada de relieves considerables, provoca que ésta sea un área muy influenciada por las perturbaciones creadas en el ámbito del Mediterráneo. De hecho, el Mediterráneo occidental es la región del hemisferio Norte con más actividad ciclogénica durante los meses invernales.

Mallorca goza de un clima templado cuyas temperaturas extremas se ven atenuadas por la brisa marina. En verano, la temperatura media es de unos 25°C, mientras que en invierno la temperatura media no baja de los 10°C, siendo la media anual de unos 17°C. El ritmo anual de temperaturas viene caracterizado por un mínimo centrado en enero, que se prolonga hasta febrero, siendo los meses más cálidos julio y agosto.

La distribución territorial de las temperaturas medias presenta una marcada relación con el relieve. La mayor parte de la isla se encuentra entre los 16 y 17°C de temperatura media anual. Se individualizan cuatro áreas más frías en la isla: la Serra de Tramuntana, en cuyos relieves centrales la Tª media anual se sitúa por debajo de los 10°C, las Serres de Llevant y los puntos más elevados del Pla (Randa y Galdent), con anomalías negativas y valores medios alrededor de los 15°C, y la Depresión de Campos, donde la concavidad del terreno condiciona que las mínimas absolutas sean más extremas que en el resto de las zonas llanas. Además de la altitud, existen otros factores que influyen en la distribución de temperaturas: la convexidad del terreno, las barreras montañosas, la distancia al mar y el grado de urbanización de la zona.

Respecto al régimen anual de precipitaciones en la Isla de Mallorca, éste presenta un máximo en los meses otoñales, destacando el mes de octubre, seguido de un invierno relativamente lluvioso. La primavera viene marcada por una disminución de las precipitaciones, siendo éstas prácticamente nulas durante los meses estivales.

Existe una gran variabilidad pluviométrica, con variaciones de series pluviométricas durante los meses otoñales del orden del 60-80%. En cualquier época del año es posible que se den meses secos, incluso en el mes de Octubre (año 1998).

Las precipitaciones del otoño e invierno son muy irregulares, concentrándose una gran proporción de la lluvia total en pocos días (5-6 días), con máximas diarias acusadas. Ocasionalmente se dan intensidades momentáneas de precipitación muy destacables, con episodios de más de 300 mm en 24 horas e incluso superiores. En todo el año no se suelen registrar más allá de 60-70 días con precipitación apreciable.

En la isla de Mallorca, la variación espacial de las precipitaciones medias está estrechamente ligada a la orografía (Fig.6), con máximos que se sitúan en torno a los 1400-1600 mm anuales en el sector central de la Serra de Tramuntana, mientras que en el litoral meridional de la isla no se superan los 300-350 mm. La precipitación media anual para el conjunto de la isla es de 600 mm. Los relieves influyen básicamente sobre la intensidad de las precipitaciones y no tanto en el número de días de lluvia

Aunque el factor topográfico es el determinante de la distribución territorial de la precipitación, no se pueden desestimar otros tales como: la existencia de barreras montañosas en la dirección de los vientos, la concavidad del terreno, la distancia al mar etc.

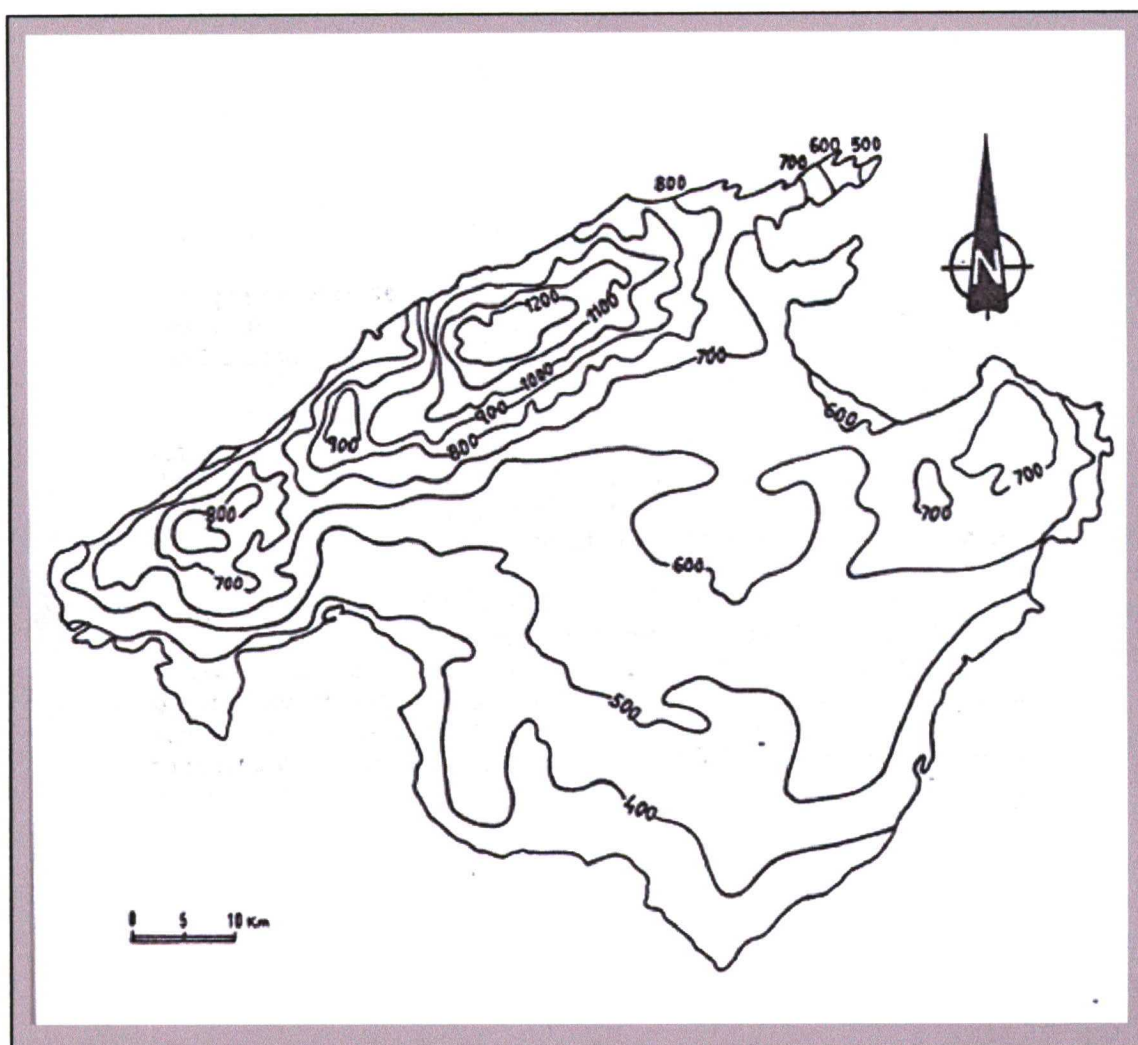


Fig. 6. Distribución espacial de la precipitación media anual en la Isla de Mallorca. GUIJARRO (1986).

Las precipitaciones en forma de nieve quedan restringidas a las zonas altas de la Serra de Tramuntana y muy ocasionalmente afectan al resto del territorio en circunstancias de olas de frío.

### 3.4- HIDROLOGÍA

La red de drenaje superficial de la Isla de Mallorca se caracteriza por la ausencia total de cursos de agua permanentes, quedando configurada por una serie de torrentes con un funcionamiento esporádico y que, en muchos ocasiones, únicamente tienen aportaciones significativas tras fuertes aguaceros.

Esta irregularidad y falta de caudales permanentes se ve favorecida, tanto por la ausencia de precipitaciones durante los meses estivales, como por la escasez de lluvias totales anuales; así como por el predominio de litologías carbonatadas en el terreno, que favorecen la rápida infiltración del agua de lluvia. La sobreexplotación de las aguas subterráneas durante los últimos 40 años ha contribuido también de forma notable a la ausencia de corrientes superficiales, aquellas que estaban alimentadas por la salida de fuentes y manantiales.



Las cuencas torrenciales en la isla presentan pequeña extensión (Fig. 7), siendo la mayor la del Torrente de Muro, algo inferior a los 450 Km<sup>2</sup> de cuenca.

La irregularidad de las lluvias y su concentración en cortos períodos de tiempo puede dar lugar a caudales punta elevados en los torrentes de Mallorca. GRIMALT (1992). A raíz de las inundaciones de 1989, se ha detectado caudales máximos instantáneos de avenidas del orden de 1000m<sup>3</sup>/s en cuencas inferiores a los 20 Km<sup>2</sup>, localizando puntas superiores a los 1500 m<sup>3</sup>/s.

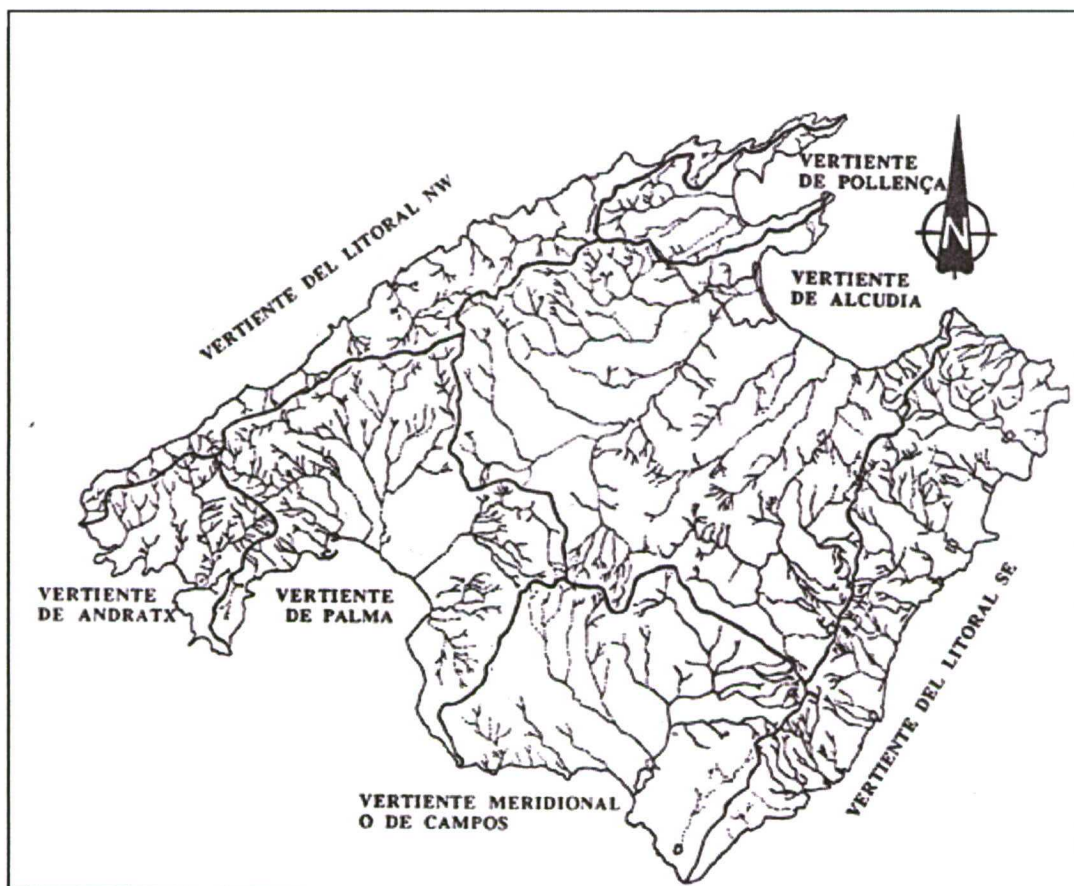


Fig.7. Vertientes hidrográficas y principales torrentes en la Isla de Mallorca. GRIMALT (1992)

En la vertiente litoral de la Serra de Tramuntana, objeto de este trabajo, la línea de cimas se encuentra a muy pocos kilómetros de la línea de costa, por lo que la red de torrentes queda reducida a una franja muy estrecha. La cuenca de mayor extensión corresponde al Valle de Sóller (54,5 Km<sup>2</sup>), con la confluencia de 4 torrentes: torrente de Fornalutx, torrente de Biniraix, torrente de Sa Coma y torrente del Coll de Sóller, que se unen en el Torrente Major a la entrada del núcleo de Sóller.

La mayor parte de los cursos de este litoral son extremadamente cortos, con elevados gradientes, perpendiculares a la divisoria de aguas, y en algunas ocasiones muy encajados.

Los afloramientos de calizas liásicas y brechas carbonatadas neógenas condicionan un modelado kárstico (Fig.8) en grandes extensiones de la Serra de Tramuntana, preferentemente en la mitad septentrional.



De esta forma, la escorrentía superficial queda interrumpida por numerosas formas endokársticas (simas), que condicionan una infiltración vertical del agua de lluvia. El modelado exokárstico determina la formación de pequeñas cuencas endorreicas asociadas a campos de dolinas y uvalas. Aparecen también surgencias kársticas de agua, destacando el manantial de Sa Costera (t.m. Escorca) que drena unos volúmenes medios de 12 hm<sup>3</sup> anuales hacia el mar.

Los cursos superficiales en zonas kársticas están muy encajados, con paredes verticales de hasta 300 m de altura. Tal es el caso del Torrent de Pareis, en el t.m. de Escorca, que constituye un cañón kárstico con paredes verticales de hasta 100 m de altura, y recoge las aguas superficiales de una cuenca carbonatada de 46,3 Km<sup>2</sup>, que provienen del Valle de Lluc y la zona del Gorg Blau (área más septentrional de la zona de estudio).

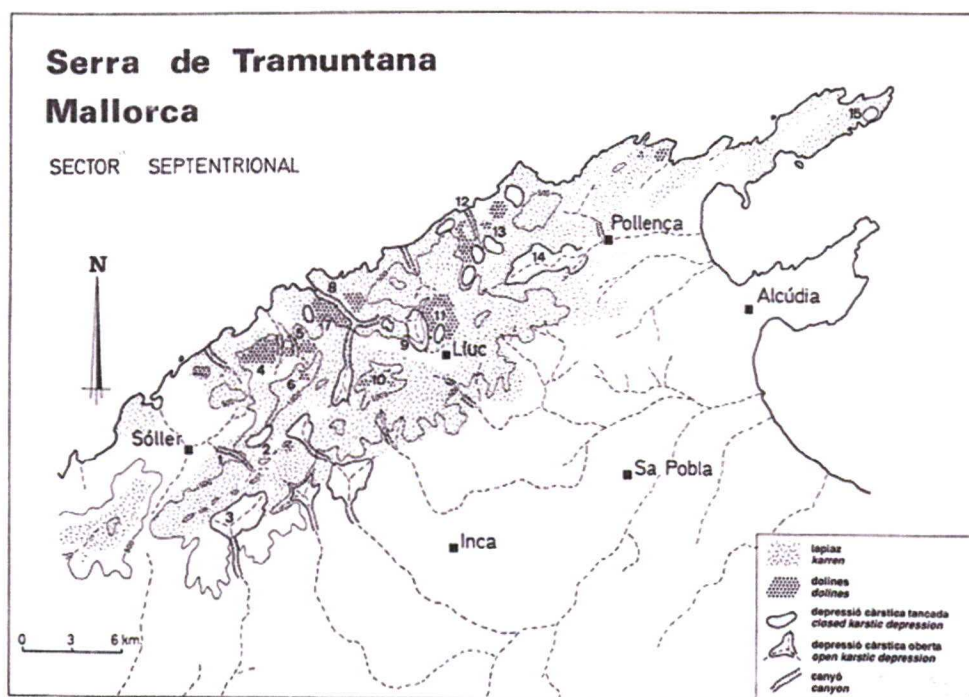


Fig.8. Cartografía esquemática del modelado exokárstico en el sector septentrional de la Serra de Tramuntana. A.GINÉS (1998).

### 3.5. VEGETACIÓN DE LA SERRA DE TRAMUNTANA

En una cadena montañosa relativamente alta como la Serra de Tramuntana, las características climáticas están estrechamente ligadas con la altitud. A mayor altitud, las temperaturas medias son más bajas, la pluviosidad más elevada, los vientos más fuertes, y en las cumbres, la nieve puede ser un fenómeno frecuente durante el invierno. Los cambios de temperatura y precipitaciones van acompañados de un cambio en la vegetación.

RITA (1998) establece tres pisos o dominios de vegetación bien diferenciados en la Serra de Tramuntana, a medida que se asciende de cota: (1) El piso del acebuchal y pinar, (2) el piso del encinar y (3) el piso del matorral en las cimas y riscos. Aunque esta diferenciación es cierta, los pisos de vegetación no tienen unos límites altitudinales claros y es frecuente encontrar comunidades vegetales de zonas bajas en las altas y viceversa.

### *Acebuchal y pinar*

En las zonas bajas de la Serra, más cálidas, predomina una vegetación termófila mediterránea caracterizada por el acebuche (*Olea europaea*) y el pino (*Pinus halepensis*), RITA (1998).

El acebuchal suele ir acompañado de una vegetación arbustiva mediterránea, de flores pequeñas y poco visibles: lentisco (*Pistacia lentiscus*), ginesta (*Ephedra fragilis*) etc.. El pinar también presenta un rico estrato arbustivo, con una colorida floración muy aromática: romañí (*Rosmarinu officinalis*), estepa blanca (*Cistus albidus*) etc.

La presencia del acebuchal o pinar parece muy ligada a las características del sustrato. El acebuchal vive preferentemente en sustratos pedregosos de calizas y dolomías, mientras que el pinar se desarrolla sobre sustratos más blandos, asociados a depósitos aluviales y coluviales o rocas blandas como margas etc. Esta regla no es general, ya que es frecuente encontrar ambas comunidades en el mismo lugar.

Ambas comunidades tienen un carácter colonizador y han ido ganando poco a poco terreno al bosque de encinas.

### *Encinar*

Es el bosque más desarrollado de la Serra de Tramuntana, un bosque umbrío y húmedo que se puede encontrar hasta los 1200 m de altitud. En las zonas bajas de la Serra aparece en el fondo de los valles y laderas umbrías.

RITA (1998), diferencia dos tipos de encinas en Mallorca: la encina carrasca (*Quercus rotundifolia*), muy resistente a la sequía, y la encina propiamente dicha (*Quercus ilex*) de ambientes más húmedos y fríos.

La degradación del encinar por talas, incendios, actividad de carboneros etc. condiciona una sustitución de éste por el pinar. En la actualidad, el encinar se conserva en áreas protegidas con una baja presión antrópica.

### *Matorral*

Por encima de los 1200 m aproximadamente el clima no permite el desarrollo de una vegetación forestal. Aparecen comunidades vegetales bajas y abiertas, generalmente de arbustos espinosos. Numerosas especies endémicas adaptadas al frío y ventoso invierno y al cálido y seco verano son propias de estas montañas: estepa joana (*Hypericum balearicum*), aritja balearica (*Smilax aspera* subs. *Balearica*) etc.



En las paredes rocosas, riscos y farallones, aparecen también plantas endémicas adaptadas a vivir en las grietas de la roca. Tal es el caso de la violeta de penyal (*Hippocrepis balearica*).

Otras comunidades vegetales de importancia en la Serra de Tramuntana son los carrizales, donde el carrizo (*Ampelodesma mauritanica*) es la planta más común. Extensiones enormes de la Serra, sobre todo en la mitad septentrional, están cubiertas por este tipo de vegetación muy apreciada por los pastores. Se trata de una vegetación indicadora de una degradación muy avanzada de la vegetación natural, que se ha visto favorecida por los incendios. Representa un síntoma de desertificación.

La vegetación estrictamente litoral ocupa una estrecha franja. Es frecuente que el pinar llegue hasta el mar, dejando pequeñas zonas aparentemente sin vegetación. Éstas zonas son ocupadas por comunidades arbustivas adaptadas a los vientos litorales: *Launaea cerviconis*, *Dorycnium fulgurans*.

### 3.6. POBLACIÓN Y ACTIVIDADES ECONÓMICAS EN LA SERRA DE TRAMUNTANA

La Serra de Tramuntana, que representa aproximadamente un tercio de la superficie de la Isla de Mallorca, constituye el área menos poblada de la misma, con una población permanente de 50,000 habitantes en los diferentes municipios de la Serra.

A continuación se da un listado de la población permanente, superficie y densidad de población de los municipios del margen litoral de la Serra de Tramuntana, objeto de este trabajo.

Municipio	Habitantes	Superf. Km <sup>2</sup>	Densidad de población
Banyalbufar	520	18,1	28,73
Deià	583	15,2	38,36
Escorça	302	139,4	2,17
Esporles	3,507	35,3	99,35
Estellencs	354	13,4	26,43
Fornalutx	507	19,5	26,00
Sóller	10,515	42,8	245,68
Valldemossa	1511	42,9	35,22

La densidad media de población en la Serra de Tramuntana se cifra en torno a los 46 hb/km<sup>2</sup>, muy inferior a la media de la Isla que se sitúa en torno a los 170 hb/km<sup>2</sup>. El municipio más poblado de la Serra es Sóller, que durante siglos ha sido uno de los puertos comerciales más importantes de Mallorca. La población estacional en los municipios de la Serra (en base al espacio urbanizado) puede superar el medio millón de personas.



Hasta mediados de este siglo, el elemento tradicional y organizador del espacio agrario de la Serra de Tramuntana era la “Possesió”, una estructura feudal de propiedad basada en la explotación de extensiones superiores a 100 Ha, preferentemente de secano: olivar para almazara (más del 50% de la superficie cultivada), algarrobos, almendros y cereal. El resto del suelo era ocupado por superficies forestales, que servía de pastoreo a una ganadería muy extensiva de ovejas y cerdos, y a la actividad de los carboneros. La única excepción a este modelo eran los municipios de Sóller y Banyalbufar, dado la fertilidad de sus tierras y la abundancia de agua, desarrollando un sistema abancalado de cultivo de huerta regados por una compleja red de acequias.

A partir de la década de los 50, la llegada del turismo a la isla de Mallorca conduce a una rápida terciarización de la población activa. Se produce un intenso éxodo rural de antiguos jornaleros a la ciudad de Palma y nuevos centros turísticos de la Isla. Como consecuencia, en la Serra de Tramuntana se produce un declive de la población y un envejecimiento progresivo de ésta, con el consecuente abandono de las tierras de cultivo.

Paralelamente al desarrollo del turismo, a partir de la década de los 70 se produce una fuerte demanda de suelo para uso turístico, sobre todo en las zonas litorales. Este hecho conlleva una transformación de las amplias extensiones agrarias en zonas urbanizadas para usos turístico y residencial. Numerosas urbanizaciones e instalaciones hoteleras aparecen en los municipios de Calvià, Andratx, Sóller y Pollença. Las parcelaciones de las antiguas “Possessions” se transforman en grandes urbanizaciones de casas residenciales destacando la de George Sand en Valldemossa; Port des Canonge y Son Coll en Banyalbufar; Torre Picada, Es Port y Muleta en Sóller; y Son Massip; Es Guix y Cala Tuent en Escorça. Los pueblos de la Serra más cercanos a Palma se transforman en pueblos dormitorio tales como Esporles, Valldemossa, Bunyola etc. Paralelamente, se mejora y completa la red viaria en la Serra de Tramuntana según las necesidades de los nuevos espacios turísticos y residenciales.

En la actualidad, más del 70% de la población activa de los municipios del litoral de la Serra de Tramuntana vive directamente del turismo, el 16% de la construcción (porcentaje que tiende a incrementar) y el resto de la pequeña industria y la agricultura (Fig.9).

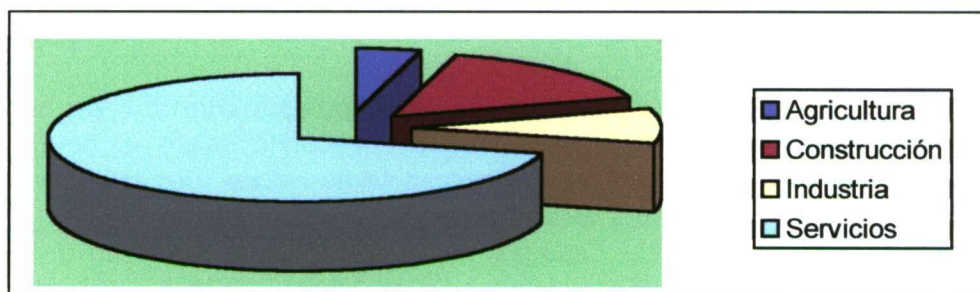


Fig.9. Distribución actual de la población activa del margen litoral de la Serra de Tramuntana por sectores económicos. Fuente de datos: DADES BALEARES, 1998.

La proliferación de segundas residencias en los municipios de la Serra como respuesta a una demanda de ocio y espacios naturales, el desarrollo del turismo rural ligado a actividades de excursionismo (más de 25 establecimientos de agroturismo) y el innegable valor paisajístico de estas montañas, condiciona una afluencia de turistas y un uso de este espacio natural cada vez mayor durante todo el año. Se estima que más de un millón de personas al año visitan el Monasterio de Lluc en Escorca; más de 300,000 turistas al año circulan por la tortuosa carretera de Sa Calobra; cerca de 800,000 turistas utilizan el tren de Sóller anualmente, y cientos de miles los coches alquilados circulan continuamente por las estrechas carreteras de la Serra de Tramuntana.

### **3.7. INGENIERÍA POPULAR PARA EVITAR LA EROSIÓN Y FACILITAR EL CULTIVO DE LAS LADERAS DE LA SERRA DE TRAMUNTANA.**

Este apartado es de gran importancia en el contexto de este trabajo, por la labor del hombre durante siglos en su lucha contra la erosión y de adaptación de las pendientes de la Serra de Tramuntana a tierras de cultivo, contribuyendo así a una “estabilización” de las laderas.

Las características climáticas de la Serra de Tramuntana, con episodios de precipitaciones muy intensas en los meses otoñales e invernales, que en ocasiones superan los 500mm en 24 horas (GRIMALT, 1992), se traducen en avenidas de agua con un notable poder destructivo y en intensos procesos erosivos de las laderas. El hombre que durante siglos ha habitado este medio, ha desarrollado toda una serie de sistemas encaminados a evitar y/o reconducir la escorrentía superficial, que se pueden resumir en los siguientes (GRIMALT, 1998):

- Anulación de la escorrentía de los tálvegs: se intercepta el curso del tálveg con varios muros de piedra (localmente denominados “parats”), perpendiculares al eje del valle y diseñados para soportar la eventual escorrentía concentrada.
- Reconducción de las aguas superficiales: se canalizan los cursos de los torrentes mediante muros de piedra laterales para evitar la erosión de los márgenes. En ocasiones el fondo también aparece empedrado. Se construyen también canalizaciones paralelas al curso del torrente para desviar parte del caudal.

Por otro lado, el afán del hombre durante siglos por conseguir pequeñas zonas de cultivo en esta topografía tan accidentada, ha condicionado el desarrollo de una importante ingeniería popular de aterrazamiento de laderas, con la construcción de los tradicionales muros de piedra seca (localmente denominados “màrges”), que dan lugar a las “marjadas” o bancales. Estos muros de piedra seca, sin ningún tipo de cemento, están diseñados para evitar la acumulación de agua y la aparición de sobrepresiones, facilitando en ocasiones el drenaje con la construcción de canales empedrados a ambos lados de la “marjada”. Sobre las “marjadas” se han desarrollado los tradicionales cultivos de secano: principalmente el olivar, almendros, algarrobos, higueras y cereales.



La extensión evaluada de superficie aterrazada en la Serra de Tramuntana se estima en 16,500 Ha (GRIMALT et al. 1992), aunque el abandono actual de la agricultura ha provocado que en gran parte de los terrenos aterrazados aparezca abundante población forestal y no se reconozcan como tales a simple vista. En la Fig.10 se presenta una fotografía del pueblo de Banyalbufar sobre una amplia zona de “marjadas”, donde tradicionalmente se ha desarrollado un cultivo de pequeños huertos, que ha constituido la principal riqueza de esta localidad antes de la llegada del turismo.

No hay que poner en duda la importancia del hombre como factor geomorfológico en la Serra de Tramuntana, contribuyendo a la disminución de los procesos erosivos en las laderas y por lo tanto a un aumento de la estabilidad de las mismas.



Fig.10. El pueblo de Banyalbufar sobre los terrenos aterrazados.

## Capítulo 4

### CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

#### 4.1- MARCO GEOLÓGICO REGIONAL E INSULAR

Mallorca es la parte emergida más extensa del Promontorio Balear, que se extiende desde el Cabo de la Nao (SE de la Península Ibérica) hasta la cuenca Liguro- Provenzal (al NE de la Isla de Menorca) a lo largo de 440 km. El Promontorio Balear constituye la prolongación hacia el NE de las Cordilleras Béticas y está formado por un engrosamiento cortical de tipo continental de unos 27 Km de espesor. El Mediterráneo occidental está constituido por un conjunto de cuencas, algunas con fondo oceánico, separadas por islas y rodeadas por importantes cadenas de plegamiento. El promontorio Balear constituye la zona "más oceánica" del Mediterráneo occidental (Fig. 11).

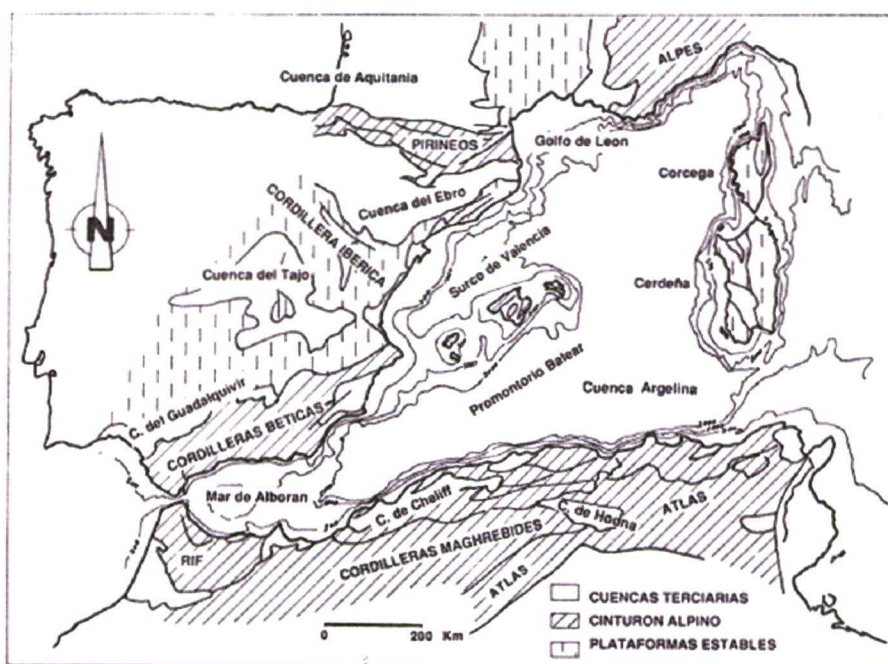


Fig. 11. Situación del Promontorio Balear en el contexto geológico del Mediterráneo occidental. Modificado de BIJÜ – DUVAL et al. (1977)

La Isla de Mallorca está constituida por un conjunto de Horst y Grabens, dispuestos alternativamente, y que se corresponden respectivamente con las sierras y llanos, elementos morfológicos descritos en el capítulo anterior. Esta estructuración general en horsts y grabens viene dada por la presencia de grandes fallas normales de edad Mioceno superior, de orientación preferentemente NE-SO y buzamientos hacia el SE, con desplazamientos incluso kilométricos (GELABERT, 1998). Los graben han sido colmatados por sedimentos postorogénicos desde el Mioceno superior hasta la actualidad, y pueden sobrepasar los 1000 m de espesor.



En base a lo indicado anteriormente, se pueden diferenciar dos grandes elementos geológicos en la Isla de Mallorca:

- Las Sierras: Serres de Llevant, Sierras Centrales y Serra de Tramuntana.
- Las Cuencas: Palma, Campos, Inca-Sa Pobra.

#### **4.1.1-Las Sierras**

Las sierras corresponden a los relieves originados por la estructuración miocénica ligada al plegamiento alpino. De SE a NO se distinguen las Serres de Llevant, con una orientación general N-030°E, las Sierras Centrales, orientadas N-035°E y la Serra de Tramuntana, orientada oblicuamente a las demás, con una orientación general N-050°E.

##### *a) Las Serres de Llevant*

La estructura de las Serres de Llevant consiste en dos grandes unidades estructurales (Sàbat, 1986): la septentrional y la meridional. Ambas se diferencian básicamente por la distinta orientación que presentan los pliegues y cabalgamientos. El nivel de despegue general de los cabalgamientos suele ser los materiales blandos del Keuper.

Las láminas cabalgantes, vergentes hacia el NO, presentan generalmente una serie estratigráfica compuesta por los yesos, arcillas y rocas volcánicas del Keuper, las calizas y dolomías del Lías, las margocalizas pelágicas del Dogger -Malm y Cretácico inferior y las calcarenitas litorales del Eoceno. Los materiales del Mioceno inferior (calcarenitas y turbiditas) son sincrónicos con el emplazamiento de los cabalgamientos, que se va a iniciar a finales del Oligoceno, siendo activos hasta finales del Mioceno medio (SÀBAT, 1986; RAMOS GUERRERO et al, 1985).

##### *b) Las Sierras Centrales*

Comprenden los suaves relieves del centro de la isla. Se caracterizan por la presencia de pliegues y cabalgamientos orientados básicamente NE-SO, con vergencia hacia el NO. El nivel de despegue de los cabalgamientos se supone que es nuevamente el keuper, aunque no aflora en la zona. Los pliegues y cabalgamientos involucran al Lías dolomítico (facies de plataforma somera), a las calizas y margocalizas pelágicas del Dogger, Malm y Cretácico, y a una serie paleógena muy potente, superior a los 800 m (RAMOS GUERRERO et al., 1985), formada fundamentalmente por lutitas, calcarenitas y conglomerados de ambiente litoral.

La edad de la deformación compresiva en las Sierras Centrales se sitúa entre el Chattienense (Oligoceno superior) y el Langhiense (Mioceno medio). El estilo estructural de este sector de la isla es diferente al resto de las sierras, debido probablemente a que los cabalgamientos involucran una serie estratigráfica de mayor espesor, y aparecen diferentes niveles de despegue (GELABERT, 1998).

##### *c) La Serra de Tramuntana*

La Serra de Tramuntana es la sierra por excelencia del Archipiélago, con una orografía abrupta donde predominan las alineaciones montañosas NE-SO. Los sectores central y septentrional, corresponde a un sistema imbricado de cabalgamientos dirigido hacia el NO (Fig. 12). El nivel de despegue regional de los cabalgamientos es el Keuper, aunque tanto los

materiales del Paleozoico como del Bundsandstein y Muschelkalk, se encuentran esporádicamente cortados por superficies de cabalgamiento. Las láminas cabalgantes presentan una serie más potente hacia el SE. Los mantos de cabalgamiento del sector NO de la Serra únicamente engloban las dolomías del Rethiense, las calizas del Lías y los sedimentos turbidíticos del Mioceno inferior. Sin embargo, las láminas cabalgantes adyacentes a las cubetas centrales afectan, además de a los materiales anteriores, a las margocalizas del Dogger, Malm y Cretácico (en facies de plataforma), las calizas y lignitos eocenos (facies lacustres) y los conglomerados litorales oligocénicos (GELABERT, 1998). Se deduce por tanto un basculamiento general de la Serra de Tramuntana hacia el SE, anterior al Mioceno inferior.

La etapa de compresión en la Serra de Tramuntana comenzó en el Langhiense (RAMOS GUERRERO et al., 1985), aunque algunos autores apuntan que pudo haber empezado en el Oligoceno (POMAR et al, 1983).

La secuencia general del emplazamiento de los mantos de cabalgamiento es hacia el antepaís; es decir, primero se estructuran las Serres de Llevant, después las Sierras Centrales y finalmente la Serra de Tramuntana. Algunos cabalgamientos situados en el sector de Randa funcionaron fuera de secuencia durante el Burdigaliense superior, con posterioridad a algunos de la Serra de Tramuntana (GELABERT, 1998).

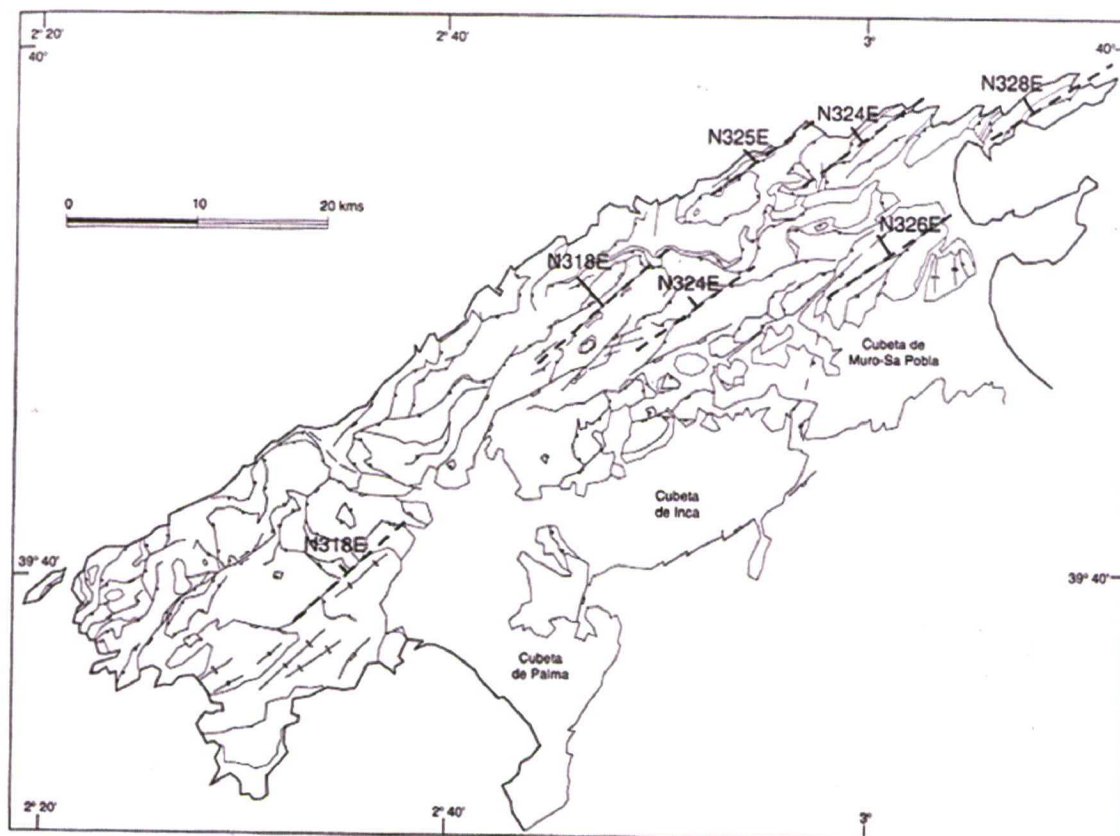


Fig.12. Mapa tectónico simplificado de la Serra de Tramuntana. Dirección general de transporte tectónico, cuya resultante es N322°E. GELABERT (1998).



A partir del Serravalliense se desarrolla un sistema extensional que continua hasta la actualidad, caracterizado por grandes fallas normales lítricas que configuran la morfología de la isla en altos y cubetas. Esta extensión postmiocénica se ha documentado en la Serra de Tramuntana (GELABERT, 1998), destacando la falla normal de Alfàbia, con un salto de casi 2 Km, y la falla normal de Alaró, con un salto superior a 1,5 Km.

### 4.1.2- Las Cuencas

Corresponden al conjunto de *grabens* de la isla de Mallorca, delimitados por las fallas normales del Mioceno superior. Son depresiones rellenas por materiales desde el Mioceno medio-superior hasta la actualidad. El espesor de sedimentos varía de unas cuencas a otras: desde los 300 m en la Cuenca de Campos (FUSTER, 1973) hasta los más de 1000 m en la Cubeta de Inca (GELABERT, 1998). La geometría interna de estos sedimentos es de abanicos abiertos hacia las fallas normales y sincrónicos a éstas.

Estas cuencas postorogénicas de relleno han sido ocupadas por el mar en diversas ocasiones desde el Serravaliense (Mioceno medio- 23 millones de años) hasta la actualidad. Como resultado, se obtiene una gran diversidad de facies sincrónicas e interrelacionadas con los depósitos aluviales asociados al funcionamiento de las fallas normales. De esta forma, en el Mioceno Superior, depósitos de plataforma abierta progradan de los bordes de las cubetas hacia el centro de la mismas, con facies de calcisiltitas con heterostegina. Posteriormente, tiene lugar un importante desarrollo de arrecifes de coral en los bordes de las cubetas, especialmente al sur de la isla y en el extremo meridional de las Serres de Llevant. En la Figura 13, se representa la columna estratigráfica más representativa del conjunto de las cubetas, donde se observa esta interrelación de facies terrígenas continentales con una gran variedad de facies de plataforma, litorales, deltaicas etc..., a lo largo de los últimos 15 millones de años.

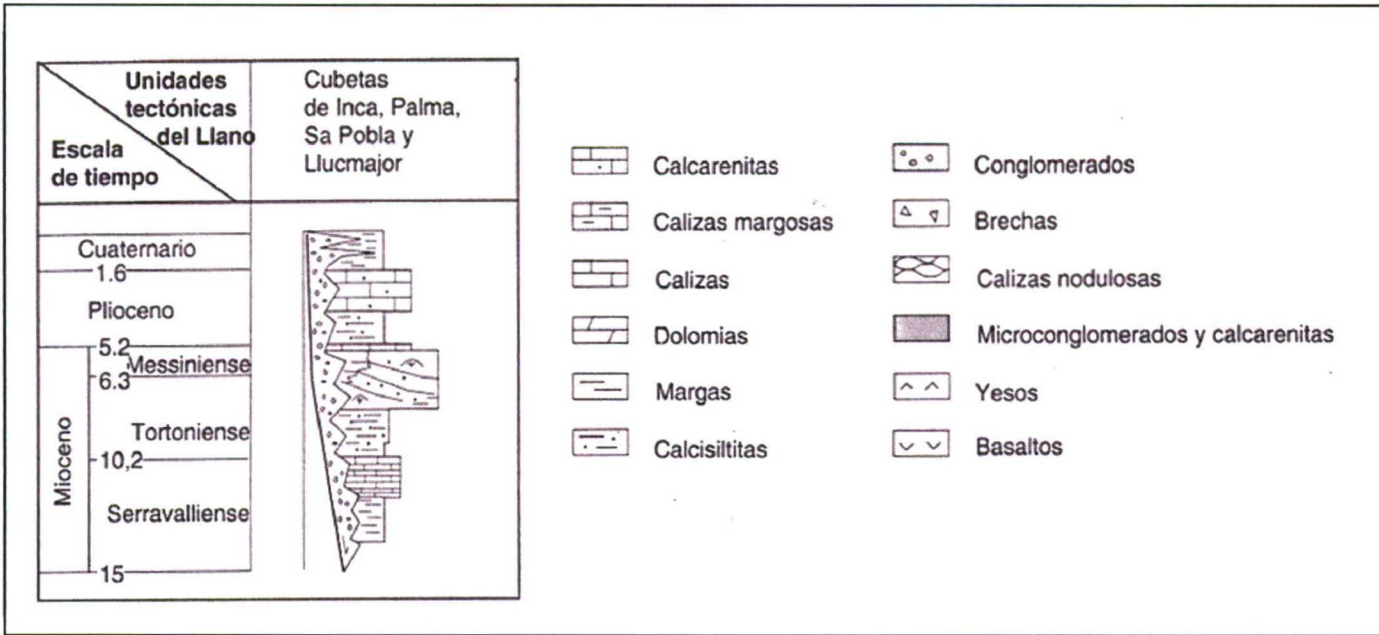


Fig.13. Columna estratigráfica representativa de las cuencas. GELABERT, 1998.

A modo de resumen de este apartado, se representa el mapa geológico simplificado de la Isla de Mallorca (GELABERT, 1998), donde se observan los diferentes dominios explicados anteriormente (Fig.14).

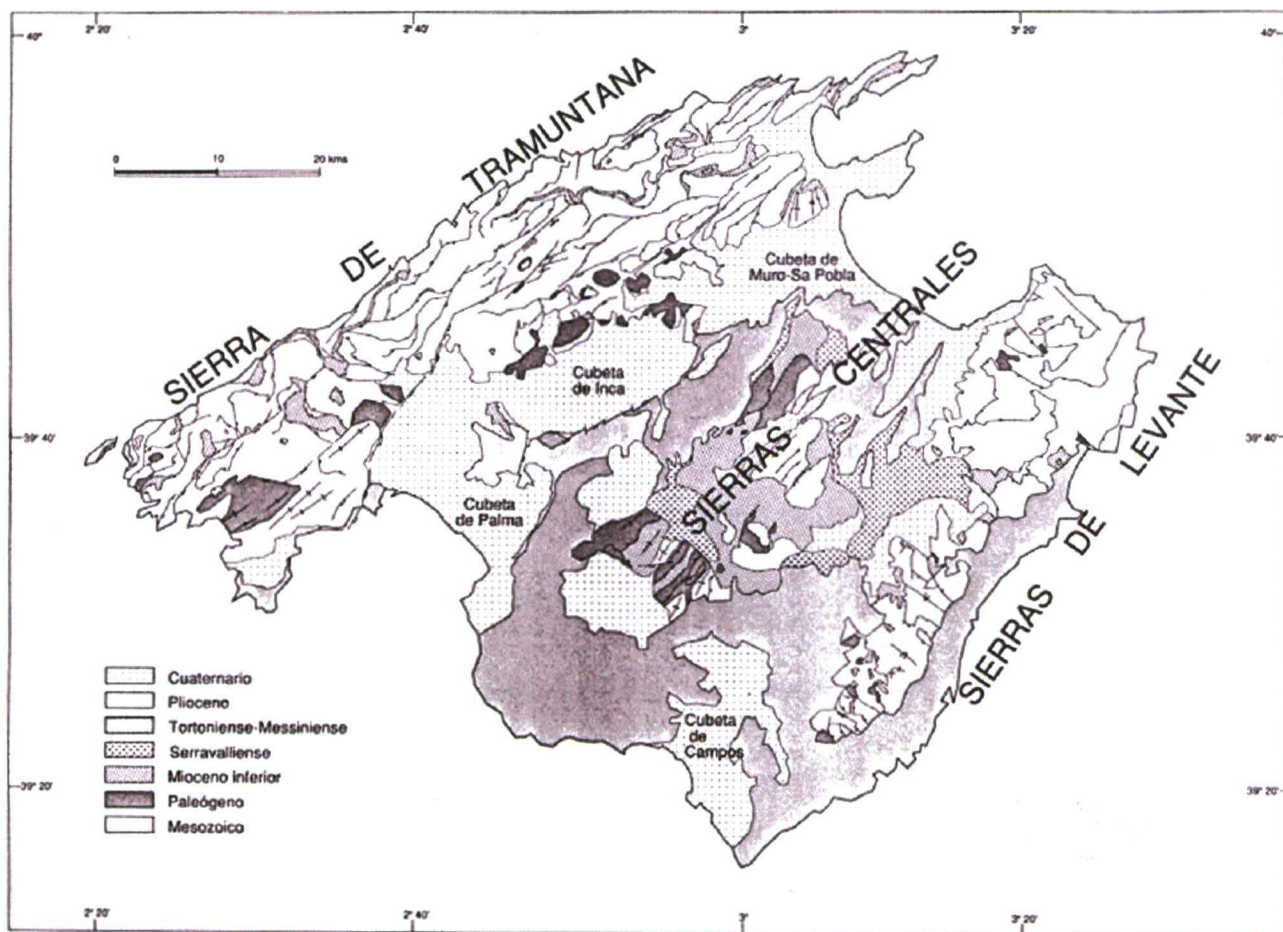


Fig.14. Mapa geológico simplificado de la Isla de Mallorca. GELABERT, 1998

## 4.2- GEOLOGÍA DE LA SERRA DE TRAMUNTANA

### 4.2.1- Dominio lito-estratigráfico

Las rocas más antiguas de la Isla de Mallorca afloran en el litoral de la Serra de Tramuntana. El Carbonífero, representado por unos pequeños retazos de metapelitas ligeramente metamorfizadas alternantes con areniscas, aflora junto al mar en S'Hort de Sa Cova, cerca del Port des Canonge. Estas facies de plataforma marina somera constituyen las rocas más antiguas de la Isla y su deformación, como resultado de la orogenia hercínica, es absolutamente diferente al resto de rocas que forman la Serra de Tramuntana.



El Mesozoico se inicia con el período Triásico, durante el cual las rocas son muy homogéneas en la franja meridional del continente europeo (RODRÍGUEZ PEREA, 1998). Representan el desmantelamiento de las Cordilleras hercínicas, y las rocas del Triásico inferior (Buntsandstein) que afloran en la Serra de Tramuntana corresponden a típicos sedimentos fluviales. Se trata de areniscas y lutitas formadas por granos de cuarzo, que afloran en los acantilados costeros en el sector meridional de la Serra, entre Estellencs y Sa Foradada. El afloramiento más extenso de estos materiales está en el Port des Canonge, que enlaza hacia el N con la Cala de Valldemossa (Fig.15). Estos materiales forman una sucesión de más de 500 m de potencia, que en sus niveles más bajos (posiblemente de edad Pérmico), intercalan niveles conglomeráticos.

En el Triásico Medio (Muschelkalk), la sedimentación corresponde a un ambiente de plataforma marina por la apertura del Tethys hacia el E. Se trata de facies carbonatadas, una serie de más de 300 m de potencia de dolomías y calizas tabulares, que intercalan niveles margosos. El tramo superior de la serie está constituido por las denominadas "facies franciscanas", típicas de las Béticas: se trata de dolomías oscuras con vetas blancas. El Muschelkalk aflora extensamente en la Serra de Tramuntana, formando acantilados como el de la Torre de Ses Ànimes en Banyalbufar o los de Son Serralta en Estellencs.



Fig.15. Port de Valldemossa. Los afloramientos de color rojo corresponden a las facies del Buntsandstein

Durante el Triásico superior (Keuper), el mar vuelve a retirarse y deja la extensa plataforma triásica emergida, en un ambiente cálido (ambiente sedimentario tipo Sebkha) y con un vulcanismo activo. Las facies del Keuper en Mallorca están constituidas por margas rojas, violáceas o grises, con intercalaciones de yesos, rocas y cenizas volcánicas (Fig.16), con una serie de unos pocos centenares de metros. Aflora en numerosas zonas de la Serra de Tramuntana, constituyendo la mayor parte de los valles donde se asientan las poblaciones.



El tránsito del Triásico superior al Jurásico se realiza de forma progresiva durante el Rethiense. Se produce una nueva transgresión del Tethys, que durará todo el Mesozoico. La sedimentación carbonatada predomina cada vez más sobre las margas triásicas. De esta forma, en la base del Rethiense encontramos margas y alternancia de margas y carniolas, y hacia el techo de la serie, de más de 300 m de potencia, aparecen carniolas y calizas margosas. Los afloramientos de Rethiense en la sierra son muy abundantes, constituyendo generalmente la base de los farallones calizos del Lías.

El Jurásico inferior o Lías constituye las rocas más representativas de la Serra de Tramuntana, el esqueleto de la cordillera. Se trata de una serie carbonatada de hasta 300 m de potencia, constituida por calizas carniolares, dolomías, calizas brechoides y calizas masivas, casi siempre karstificadas. Un nivel guía formado por cuarzoarenitas y un nivel endurecido o *hard ground* constituyen el techo de la serie.

La historia de la Serra de Tramuntana continua con depósitos pelágicos durante el resto del Jurásico y Cretácico. El Jurásico medio o Dogger, se inicia con alternancias de calizas margosas, margas y lutitas, que entre otros afloramientos constituyen la base de los pantanos del Gorg Blau y Cúber. Continúa la serie con calizas nodulosas con filamentos durante el Jurásico superior o Malm. Estos materiales afloran en la Sierra de Alfàbia, Almedrà y Son Torrella.



Fig. 16. Facies del Keuper. Cala Lluch- Alcari.



A lo largo del Cretácico inferior, continúa la sedimentación pelágica, representada por depósitos de margas y margocalizas de colores blanquecinos (facies maiólica). Contienen numerosos microfósiles, tanto silíceos (radiolarios) como calcáreos, así como ammonites. Afloran en diversos lugares de la sierra, siendo muy representativos en la carretera de Orient. A mitad del Cretácico se produce un empobrecimiento de oxígeno en el océano, que se traduce en la sedimentación por facies margoarcillosas oscuras, con un elevado contenido en materia orgánica y ammonites piritosos (RODRÍGUEZ PEREA, 1998). El Cretácico superior corresponde a margocalizas blanquecinas, muy similares a las del Cretácico inferior. Los afloramientos de estas facies del final del Cretácico se localizan principalmente en las vertientes surorientales de la Sierra (Puig d'en Basset).

El comienzo del Cenozoico en la Serra de Tramuntana se caracteriza por una ausencia de sedimentación, no hay registro sedimentario de todo el Paleoceno ni del Eoceno inferior. Esta ausencia se interpreta como una etapa erosiva, ya que el área que ahora ocupa el Golfo de Valencia estaba emergida, y las Baleares constituían su margen SE. Durante el Eoceno medio, en las vertientes más al SE de la zona que después formará la Serra, se produce una sedimentación lacustre en pequeñas cuencas continentales, donde además de carbonatos de agua dulce, se va a acumular suficiente materia orgánica para generar carbones. Estas facies de calizas lacustres con carbón se han explotado hasta hace pocos años en la Isla (canteras de lignitos en Alaró). A finales del Eoceno, diversos episodios transgresivos van a depositar sedimentos litorales sobre las facies lacustres anteriormente descritas.

La serie del Oligoceno es básicamente continental: conglomerados, calcarenitas y margas. Representa los depósitos de la erosión del macizo que existía al NW a finales del Cretácico. Se formaron numerosos cuerpos de abanicos aluviales tipo "*delta fans*". Los afloramientos más extensos de estos cuerpos aluviales se localizan en la vertiente SE (Raiguer) y en el extremo meridional de la Serra de Tramuntana (Calvià y Andratx).

A comienzos del Mioceno inferior tiene lugar un cambio paleogeográfico muy importante (RODRÍGUEZ PEREA, 1998), relacionado con el desplazamiento de Córcega y Cerdeña y la apertura del Golfo de Valencia. Se define así el Protoarchipiélago Balear, caracterizado por ambientes marinos someros y una línea de costa muy irregular. Se depositan potentes niveles de brechas, conglomerados, calcarenitas, calizas arrecifales y margas en ambiente litoral; es decir, una sedimentación muy heterogénea y localizada. Así, afloran depósitos de plataforma de esta edad en Mina, Binis etc.; arrecifes coralinos en Cala Sant Vicenç, Lluc, costa de Deià etc.; sedimentos de playa en Rajolí y Sant Elm etc., y abanicos aluviales en Tomir y Dragonera. RODRÍGUEZ PEREA (1984) denomina esta sedimentación de edad Mioceno inferior como la "Formación Calcarenítica de Sant Elm", localmente conocida como "la Basal".

Durante la sedimentación de los depósitos antes descritos del Mioceno inferior se produce también un cambio cinemático, iniciándose un régimen de esfuerzos compresivo en las Baleares como resultado de la orogenia Alpina. El Mediterráneo estaba formado por un conjunto de microplacas que respondían de forma distinta a la aproximación de Europa y África. Por esta razón, las deformaciones máximas en cada zona pueden ser asíncronas.



En Baleares, el máximo orogénico tiene lugar durante el Mioceno inferior y medio. De esta forma se constituye la actual Serra de Tramuntana, mediante una serie de láminas cabalgantes vergentes hacia el NW, y con una velocidad de acortamiento mínima de 4,9 mm/a (GELABERT, 1998).

A finales del Mioceno inferior y comienzos del Mioceno medio, el hundimiento se acentúa, y se generan diversas cuencas asociadas a los frentes o flancos de los cabalgamientos, que pudieron alcanzar centenares de metros de profundidad. Se establece una sedimentación turbidítica en estas profundas cuencas de forma sincrónica al avance hacia el oeste de los cabalgamientos (RODRÍGUEZ PEREA, 1984). Desde el punto de vista litológico, estas facies turbidíticas están constituidas por una alternancia de margas y calcarenitas en capas paralelas (Fig.17). Los afloramientos de estos depósitos turbidíticos se localizan bajo la mayoría de los cabalgamientos, formando laderas y valles donde se localizan algunas poblaciones de la Serra como Banyalbufar y Estellencs. RODRÍGUEZ PEREA (1984), denomina estas facies turbidíticas como “Formación Turbidítica de Banyalbufar”. Los depósitos turbidíticos son los últimos en depositarse y lo hacen a medida que los cabalgamientos se emplazan de forma definitiva. La Serra de Tramuntana se constituye ya como un relieve emergido desde hace aproximadamente 16 millones de años.



Fig.17. Sedimentos de la Formación Turbidítica de Banyalbufar cerca de la localidad de Estellencs. Alternancia de margas y calcarenitas en niveles estratificados.



Posterior al régimen compresivo que da lugar a la formación de la Serra de Tramuntana, se establece un régimen distensivo ligado a la apertura del Golfo de Valencia, a la rotación levógiara de Córcega y Cerdeña y a la expansión del mar Argelino. Este nuevo régimen de esfuerzos se traduce en la formación de fallas normales que individualizan sierras y planos. En la Serra de Tramuntana, las fallas normales más destacadas son las de la vertiente litoral, objeto de esta Tesis, que jugarán posteriormente un papel fundamental en la formación de acantilados y la dinámica de vertientes.

Tras la estructuración de la Serra hace 16 millones de años comienza la etapa erosiva de estos relieves, que continúa hasta la actualidad, configurando el paisaje de la Serra de Tramuntana. Este periodo se caracteriza por:

- Fenómenos gravitatorios de gran magnitud. Deslizamientos asociados a grandes fracturas.
- Dinámica torrencial más intensa que en la actualidad, como denota el registro sedimentario, con potentes facies aluviales adosadas a los márgenes de la Serra.
- Intensos procesos de karstificación de las rocas carbonatadas, desarrollando morfologías exokársticas y endokársticas en grandes extensiones de la Serra.
- Procesos periglaciares en épocas frías cuaternarias, posible origen de potentes canchales que perduran hasta hoy en numerosas laderas
- Intensa dinámica litoral de retroceso de acantilados que configura una costa joven, verticalizada y muy activa.

A modo de resumen de este apartado, en la Fig.18 se representa la columna estratigráfica tipo de la Serra de Tramuntana (GELABERT et al. 1992).

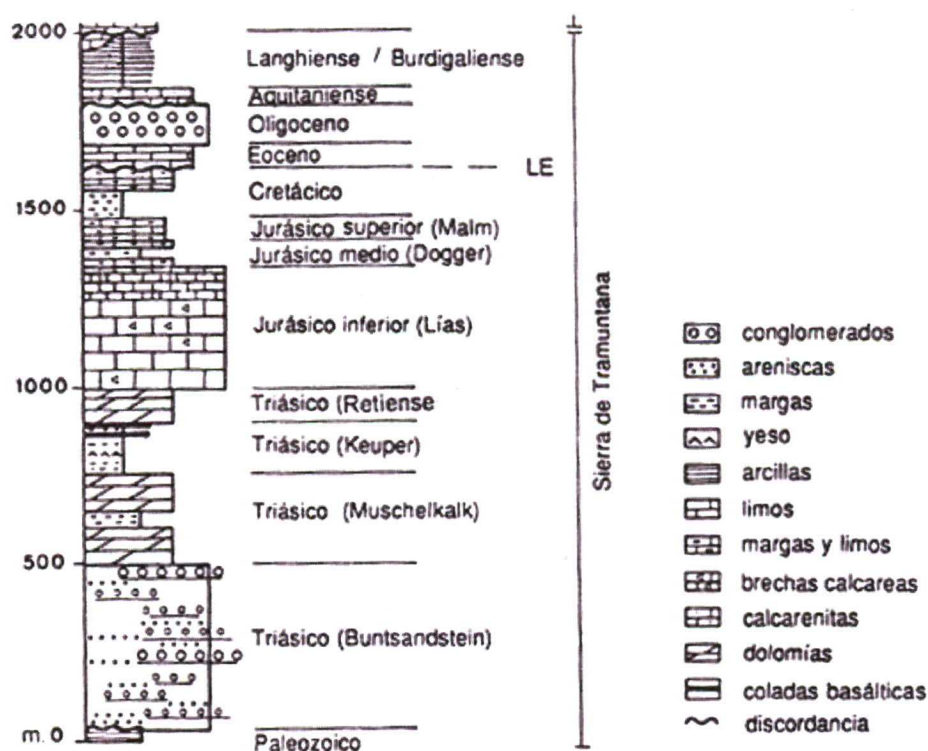


Fig.18. Columna litoestratigráfica de la Serra de Tramuntana. GELABERT et al, 1992

## 4.2.2- Dominio estructural

GELABERT (1998) analiza la estructura geológica de la Serra de Tramuntana, tomando como base de partida los trabajos realizados por FALLOT (1922), ALVARO Y DEL OLMO (1984) y ALVARO (1987). Este autor define dos grandes unidades estructurales en la Serra de Tramuntana: Unidad I y Unidad II (Fig.19). El límite entre ambas unidades estructurales viene definido por una superficie de cabalgamiento que superpone la unidad II sobre la I.

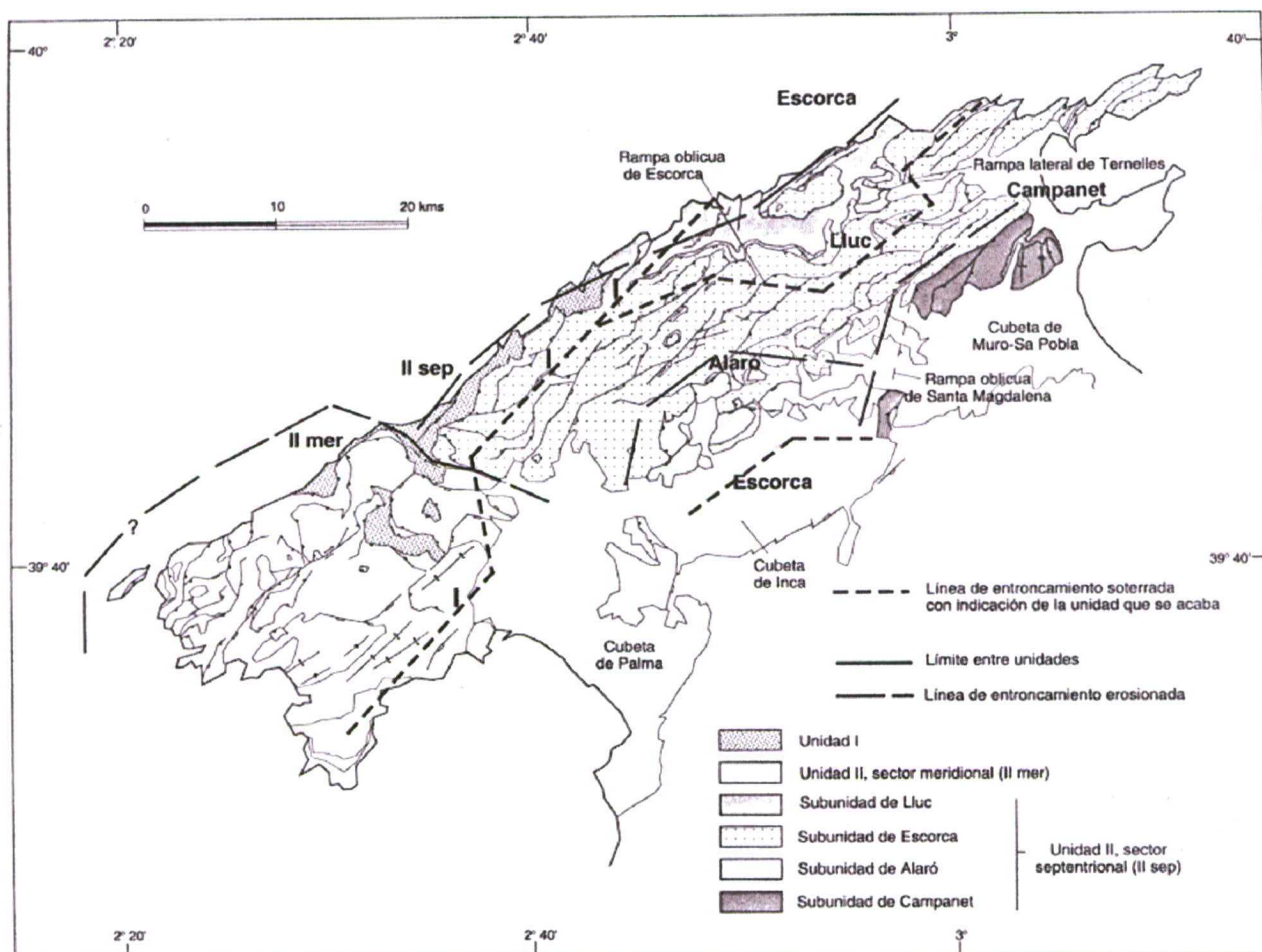


Fig.19. Mapa estructural de la Serra de Tramuntana. GELABERT, 1998

### La Unidad I (GELABERT, 1998)

La Unidad I aflora en el sector SO de la Serra de Tramuntana, en los alrededores de Puigpunyent, Estellencs, Banyalbufar y Esporles, Es Port des Canonge, Deià y el Puerto de Sóller. Es la única Unidad en la que materiales del Paleozoico y del Triásico (facies Buntsandstein) se ven involucrados, y parece ser que éstos no corresponden al autóctono, sino que están despegados e involucrados en el sistema de cabalgamientos.



La Unidad I está dividida en dos mitades por la falla normal del Port des Canonge: la mitad oriental, que aflora en la costa y está compuesta por una serie de materiales triásicos recubierta discordantemente por los materiales del Mioceno inferior; y la mitad occidental, formada básicamente por las dolomías Rethienses, las calizas liásicas, y de forma discordante las unidades basal y turbidítica miocena (RODRÍGUEZ PEREA, 1984). La falla normal del Port des Canonge es una falla premiocena, de más de 12 km de longitud y con un salto normal mínimo de 600 m, ya que elimina prácticamente las series del Keuper y del Muschelkalk.

La Unidad I de la Serra de Tramuntana, se caracteriza por la presencia de pliegues y cabalgamientos en dirección N-S, ligados a una compresión local E-O que parece ser de carácter local, y está ligada a la rampa oblicua que forma el cabalgamiento que superpone la Unidad II sobre la I (GELABERT, 1998).

### **La Unidad II (GELABERT, 1998)**

La Unidad II de la Serra de Tramuntana se divide en dos sectores principales: el meridional y el septentrional, separados entre sí por la falla de Esporles.

#### *- El sector meridional*

Dentro de este sector se distinguen a su vez dos áreas: La zona de Na Burguesa- Calvià y la zona de Andratx. La zona de Na Burguesa corresponde a un pliegue de inflexión de falla complejo vergente al NO, siendo la orientación general de los pliegues anticlinales y sinclinales NE-SO, perpendiculares al sentido de transporte tectónico. Sin embargo, la zona de Andratx se caracteriza por la presencia de pliegues y cabalgamientos de orientación N-S.

#### *- El sector septentrional*

Desde el punto de vista estratigráfico, se diferencia del sector meridional por el afloramiento masivo de materiales del Rethiense y Lías. Únicamente en las láminas más meridionales se encuentran sedimentos del Dogger, Malm, Cretácico y Oligoceno. La orientación de los pliegues y cabalgamientos en este sector es NE-SO. Los que se apartan de esta dirección se consideran rampas laterales u oblicuas. El nivel de despegue principal de los mantos de cabalgamiento son los materiales blandos del Keuper, aunque localmente se incluyen fragmentos del Muschelkalk. Este hecho puede estar relacionado con la presencia de fallas normales premiocénicas.

En el límite entre las Unidades I y II existe toda una serie de "piezas" intermedias de dudoso origen. Se trata de grandes volúmenes de roca situados sobre las turbiditas miocenas y formados básicamente por brechas del Lías y en menor medida por dolomías del Rethiense. Se han considerado tres orígenes para explicar su génesis: 1) de naturaleza olitostrómica, depositándose sobre las turbiditas en relación al emplazamiento de los cabalgamientos; 2) láminas cabalgantes de la Unidad II, que han ido quedando atrás durante su desplazamiento; 3) láminas cabalgantes que se enraizan en la Unidad I.

### 4.3. - NEOTECTÓNICA Y SISMICIDAD

#### 4.3.1. - Las Islas Baleares en el contexto tectónico actual del Mediterráneo occidental

Los recientes estudios de numerosos autores: SANZ DE GALDEANO et al. (1995), SANTANACH et al. (1980), MASANA (1996), HERRAIZ et al. (1997), GOULA et al. (1999) etc., revelan que la zona de contacto entre la placa Eurasiática y Africana en la región Ibero Magrebí constituye una amplia zona deformada, limitada al Sur por la cordillera Sahariana del Atlas y el Rif de Marruecos y hacia el Norte por las cordilleras Bética e Ibérica, y más hacia el Norte aún por los Pirineos. Numerosas fallas son sísmicamente activas en las Béticas, Mar de Alborán, NE de Cataluña, las zonas costeras del NE de Marruecos, Argelia, Túnez y a lo largo de la Cordillera del Atlas. En resumen, puede afirmarse que la tectónica de colisión desempeña un papel importante en el Mediterráneo occidental, que se traduce en un acortamiento general de dirección NO-SE y un alargamiento perpendicular NE-SO (Fig. 20).

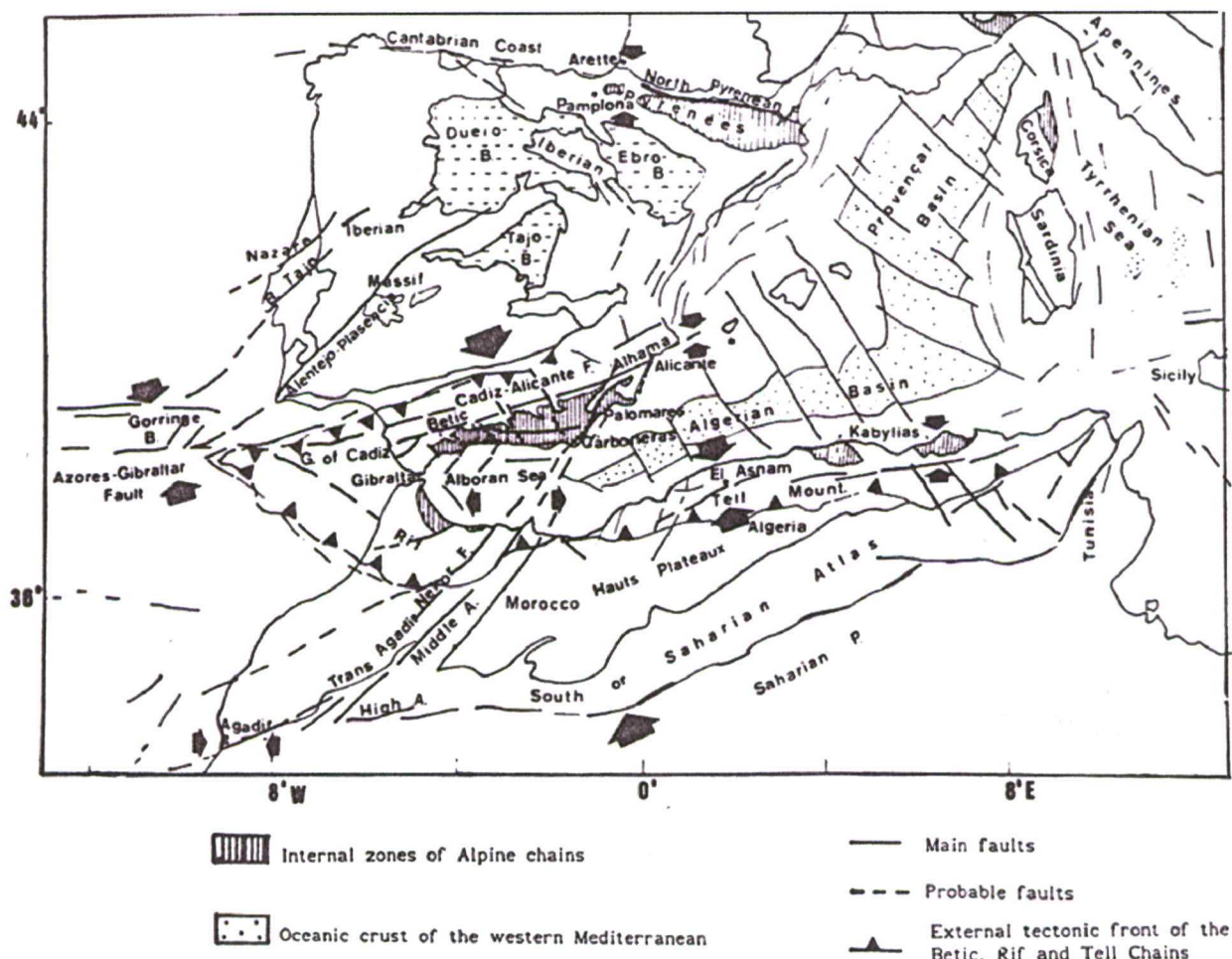


Fig. 20. Modelo sismotectónico de la región Ibero-Magrebí (SANZ DE GALDEANO ET AL, 1995). Las flechas indican la dirección de los esfuerzos regionales



Teniendo en cuenta la falta de datos sismotectónicos y microestructurales en el Archipiélago Balear, se ha resumido la información más reciente relativa a las zonas más cercanas al Archipiélago, con la finalidad de hacer una extrapolación y valorar el régimen tectónico actual en el conjunto de las islas:

- Los análisis de mecanismos focales de sismos en la plataforma continental cercana a Cataluña (OLIVERA et al., 1992; GOULA et al., 1999), ponen de manifiesto un régimen actual de deformación con compresión N-S y extensión E-O. BUFFORN et al. (1995) avala este régimen de compresión N-S y extensión E-W en las Cordilleras Béticas y sistemas de fallas de desgarre (strike –slip) en el mar de Alborán. Terremotos recientes cercanos al Archipiélago Balear, revelan mecanismos de dirección en la plataforma de Tarragona (terremotos 1987, 1991, 1995), RIBEIRO et al. (1996).
- En la provincia de Alicante, ALFARO (1995) realiza un análisis tectónico y sismotectónico en la Cuenca del Bajo Segura. Este autor deduce que desde el Mioceno superior hasta la actualidad, el campo de esfuerzos en este sector de la Cordillera Bética está caracterizado por un esfuerzo máximo compresivo horizontal de dirección NNO-SSE.
- GOULA et al. (1999), en base a datos microtectónicos y de análisis de mecanismos focales, afirma que la evolución del régimen de esfuerzos en el Pirineo oriental desde el Aquitaniense, se traduce en un cambio de los esfuerzos regionales; pasando de un régimen extensivo en el pasado, a un régimen actual caracterizado por esfuerzos strike –slip o compresivos.
- MASANA (1996), realiza diversos estudios geomorfológicos y estructurales en las Cadenas Costero Catalanas, y revela que el principal periodo extensivo en la región tuvo lugar a comienzos del Mioceno y que esta zona ha continuado bajo extensión hasta el presente. El análisis estructural de los sedimentos pliocenos y cuaternarios de la mitad SE de las Cadenas Costero Catalanas revela fallas de componente normal de dirección NE-SW. VERGÉS et al. (1997), mediante el análisis geomorfológico del modelo de drenaje fluvial en las Cadenas Costero Catalanas, determinan una extensión lateral, al NE de Iberia, ligada a un sistema extensional de fallas paralelas a la línea de costa y apoyan la idea de un relieve muy joven relacionado con fallas normales activas.

Todo parece indicar que las Islas Baleares se enmarcarían dentro de un modelo de tectónica compresiva actual, como correspondería a su naturaleza bética, hecho que ponen de manifiesto los mecanismos focales de sismos cercanos al Archipiélago.

#### **4.3.2. - Neotectónica en la Isla de Mallorca**

Estudios recientes de GELABERT (1998) ponen de manifiesto que la relajación del edificio orogénico de la isla se manifiesta a partir del Serravalliense hasta la actualidad, mediante el desarrollo de un sistema extensional caracterizado por grandes fallas normales lítricas que configuran la actual morfología de la isla en altos y cubetas.

La extensión post- Mioceno no es exclusiva de las cubetas sino que también el citado autor la documenta en la Serra de Tramuntana, destacando la falla normal de Alfàbia (con un salto de casi 2 Km) y la falla normal de Alaró (con un salto de 1,5 Km).

Las cuencas sedimentarias más importantes (Palma, Inca y Alcúdia) se desarrollan al pie de la Serra de Tramuntana, generando una cuenca de relleno de más de 80 Km de longitud, 10 –7 Km de anchura y 700 m de profundidad (datos medios). La falla de Sencelles limita las tres cuencas en el extremo SE y constituye la mayor falla normal de la isla, de dirección NE-SO.

BENEDICTO (1994) en un estudio geológico de la cubeta de Inca, argumenta igualmente el régimen extensivo en la isla a partir del Serravalliense, y concluye que esta cubeta constituye un semigraben cuya diferenciación comenzó en el Serravalliense y se prolonga hasta el Cuaternario, desarrollándose un régimen extensivo cuyo eje máximo de alargamiento es NO-SE. La geometría de la cubeta de Inca quedó esbozada mediante la falla de Sencelles, y junto a la cual se desarrolla el máximo espesor de sedimentos de relleno, que alcanzan los 1500 m de espesor (sondeo G.E.S.A., 1996).

En la Figura 21, se representa el mapa de anomalías gravimétricas residuales de la Isla de Mallorca, destacando una zona de anomalías negativas en la cubeta de Inca, orientada en dirección NE-SO y de unos 10 Km de longitud. Esta anomalía gravimétrica se asocia al relleno de la cubeta con materiales poco densos, y argumenta el citado régimen tectónico extensivo que continúa hasta la actualidad.

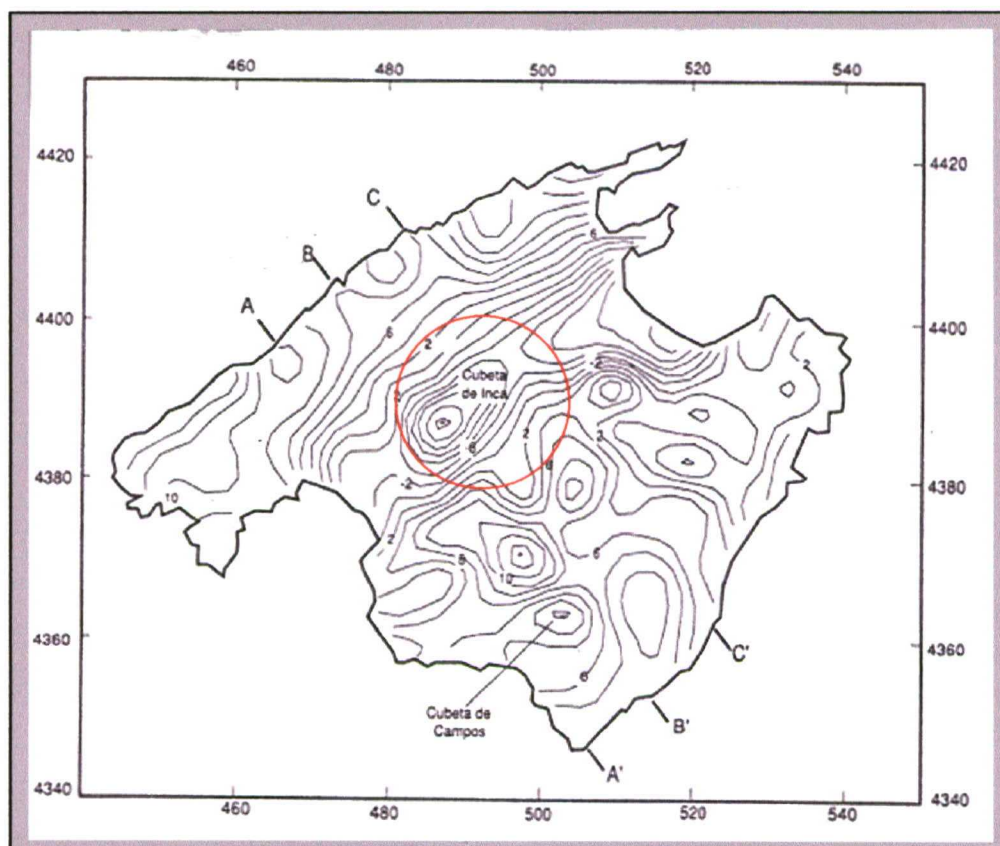


Fig.21. Mapa de anomalías gravimétricas residuales de la Isla de Mallorca (GELABERT, 1998)



Por otro lado, varios autores documentan estructuras compresivas que afectan a sedimentos cuaternarios, dentro del modelo general extensivo NO-SE que prevalece desde el Neógeno,

- GRIMALT Y RODRÍGUEZ PEREA (1994), mediante datos geomorfológicos en el Llano de Palma relativos a la estructuración de la red de drenaje, demuestran la presencia de levantamientos locales atribuibles a tectónica cuaternaria, y que sugieren la existencia de eventos compresivos muy recientes. Ambos autores definen el anticlinal de Marratxí, situado en el límite entre la Cubeta del Llano de Palma y la Cubeta de Inca, y que constituye el umbral hidrogeológico entre ambas cuencas. Se trata de una estructura anticlinal de dirección NW-SE que afecta a materiales pliocenos y cuaternarios, cuyo núcleo se encuentra dismantelado, aflorando materiales mesozoicos. El Torrent de Ses Mates se dispone de forma antecedente a esta estructura anticlinal, a la cual disecciona de NE a SW en un cauce rectilíneo y encajado. Este hecho, unido a que el resto de la red fluvial de la zona adopta un trazado centrífugo respecto de la estructura, avala la existencia de una neotectónica de levantamiento activa en la zona.
- SILVA et al (1999), describen materiales cuaternarios afectados por fracturas de carácter inverso en el entorno del anticlinal de Marratxí, concretamente en los sedimentos de relleno actuales de la dolina de Pórtol (Fig.22). El autor correlaciona las deformaciones con el terremoto de 1851 (VIII MSK), cuyo epicentro se localizó en esta zona.

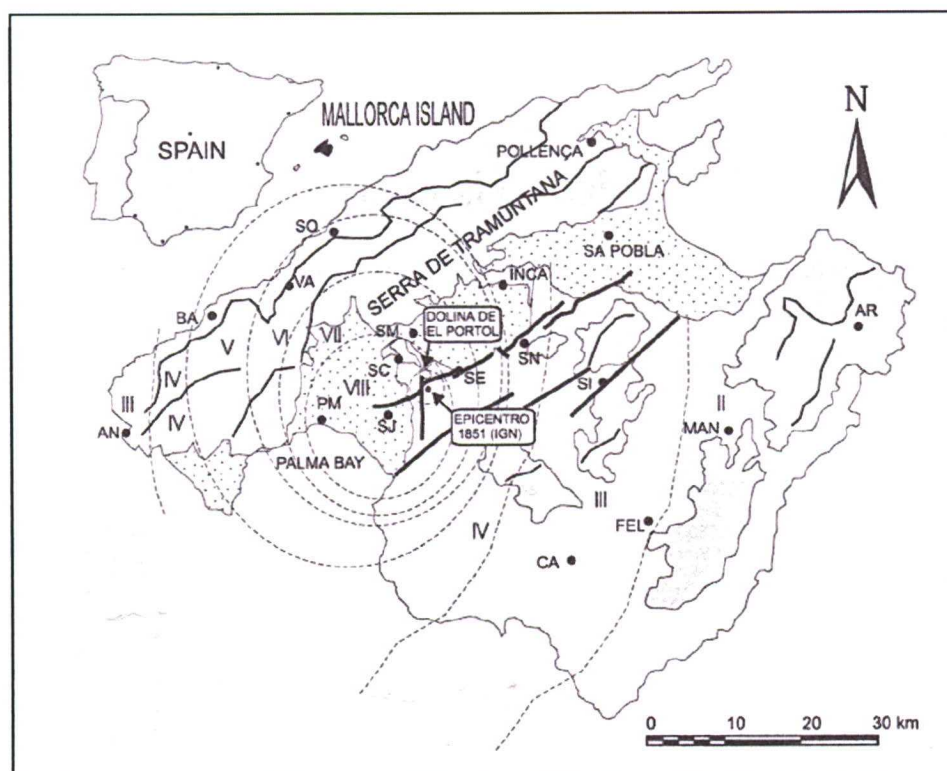


Fig. 22. Principales zonas afectadas por el terremoto de Palma de 1851. Obsérvese en punteado las cuencas de relleno del Llano de Palma, Inca y Sa Pobla y las principales fallas normales que limitan al SE estas cubetas (SE: falla de Sencelles). SILVA et al., 1999.

Otro argumento a favor de una tectónica activa en la Isla de Mallorca es la existencia de aguas termales. Cerca de la localidad de Campos se encuentra la Font de S. Joan, donde el agua surge a una temperatura superior a los 45°C. Las descripciones realizadas por BOUVY (1851) relacionadas con el terremoto antes citado de 1851, indican que durante y tras la ocurrencia del terremoto, se observó una subida de la temperatura en estas fuentes y la salida abundante de gas sulfuroso. El I.T.G.E. tiene inventariados al menos 17 pozos que captan aguas termales a temperaturas superiores a los 20°C (cinco de ellos a temperaturas superiores a 37 °C) al sur de la localidad de Lluçmajor. MANZANO et al (2000) describe la existencia de pozos en el extremo NW de la Albufera de Mallorca, donde se han observado gradientes de temperatura mayores a los que correspondería según la profundidad del agua (en algunos casos superiores a 5°). En la Fig.23, junto a la localización de los epicentros de los terremotos registrados en la isla, se ha representado también la localización de estos puntos de aguas con anomalías termales, todos ellos ubicados en cuencas de relleno postorogénicas y que representan un claro indicio de una tectónica activa en la Isla.

#### **4.3.3. - Sismicidad en la Isla de Mallorca**

Gracias a las descripciones de BOUVY (1851) y principalmente FONTSERÉ (1918), se puede conocer la sismicidad histórica en las Islas Baleares. Ambos autores describen meticulosamente, en base a una profunda investigación histórica, los daños que causaron los principales terremotos que han afectado estas islas y por lo tanto, se puede hacer una estimación de la Intensidad de los sismos que tuvieron lugar.

Los datos correspondientes a sismicidad registrada provienen del Instituto Geográfico Nacional, a través del único sismógrafo instalado en la actualidad en el Archipiélago, ubicado en la localidad mallorquina de Selva (referencia: ESEL).

Ambas fuentes han permitido la elaboración del Cuadro 3, donde se recoge toda la información disponible de sismicidad histórica y registrada en el entorno del Archipiélago Balear, reproduciendo, lo más fielmente posible, los daños causados por cada movimiento.

La representación gráfica de la sismicidad en el Archipiélago se recoge en las Figura 23, donde se ha representado los epicentros de los terremotos históricos y registrados en la Isla de Mallorca.

La información sísmica recopilada permite realizar las siguientes observaciones:

- 1- Los datos instrumentales recientes de sismicidad revelan una actividad sísmica más baja que la deducida por los datos históricos. No obstante, cabe resaltar que apenas 30 años de registro histórico son insignificantes para hacer estimaciones.
- 2- Destaca el Siglo XIX por la abundancia de movimientos sísmicos, algunos de ellos de intensidad VII y VIII en la Ciudad de Palma, que causaron considerables daños a las edificaciones de la ciudad.



- 3- A partir del siglo XVII se ha registrado un terremoto de Intensidad VII durante cada siglo:
- Terremoto de 1660, que afectó a las localidades de Campos y Palma.
  - Terremoto de 1721, en Selva, que desencadenó movimientos de ladera en el área de Biniarroy.
  - Terremoto de 1851 de Palma, con más de 17 réplicas sentidas y que causó numerosos daños en la ciudad.

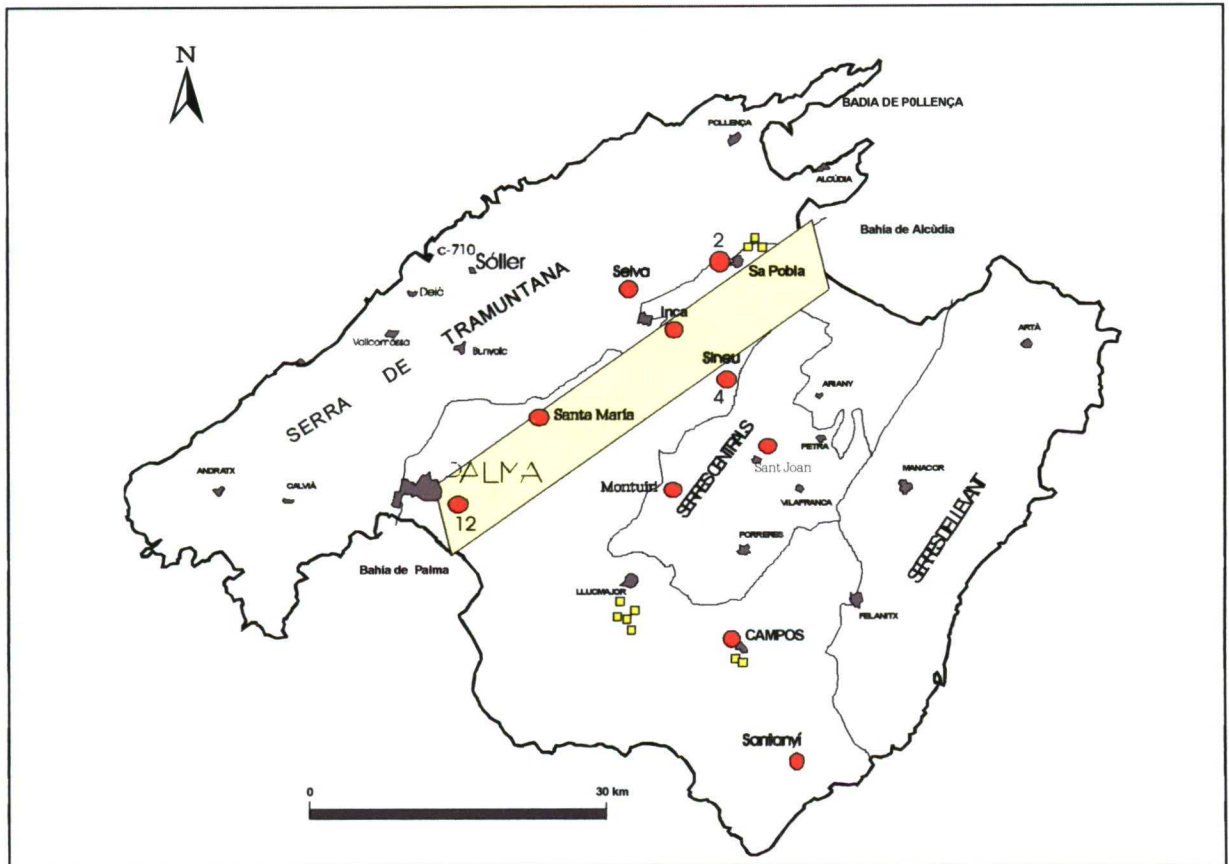


Fig.23. Representación de los epicentros de los terremotos históricos y registrados en la Isla de Mallorca (círculos rojos). Junto a los círculos se ha indicado el número de terremotos que han tenido lugar. En cuadrados amarillos se han representado los puntos donde se han detectado anomalías térmicas en las aguas subterráneas. Obsérvese que los epicentros se alinean en una franja que une las Bahías de Palma y Alcúdia.

- 4- Terremotos submarinos han causado pequeños maremotos en las costas de Mallorca y Menorca. En las costas de Mahón, Palma y Santanyí se han detectado estos fenómenos de escasa entidad.
- 5- Los epicentros de los terremotos en la Isla de Mallorca se localizan principalmente en la Depresión Central. La Figura 23 muestra claramente que podrían alinearse en una franja situada al SE de la Serra de Tramuntana, que coincide con la menor anchura de Mallorca entre sus dos Bahías.





FECHA	LOCALIZACIÓN	DAÑOS	INTENSIDAD (Mercalli)	MAGNITUD (Richter)	REF. BIBLIOGRÁFICA
20 de Octubre de 1654	Alayor (Menorca)	Destrucción de numerosas casas en Alayor y su término. Numerosos muertos. Destrucción total de la Iglesia de S. Lorenzo de Binixems. Debió ocurrir también un maremoto en base a la descripción realizada por el Dr. Parpal: “ Un huracán se levantó en el mar y un terremoto espantoso entrando por una parte de la isla y saliendo por otra ... “. ¿Terremoto o ciclón?	IX		Oléo y Quadrado, 1914 Fontseré, E., 1918
18 de marzo de 1660	Campos del Puerto y Palma	Cayeron dos arcos de la Catedral de Palma.	VII		Bouvy, P. , 1851.
24 de marzo de 1721	Selva	Derribó varias casas. Causó deslizamientos de laderas en Biniarroy	> VII		Fontseré, 1918
22 de febrero de 1749	Mallorca (sin precisar epicentro)	Parece haber sido muy fuerte	¿?		Bouvy, P., 1851
1 de noviembre de 1755	Mallorca	Se sintió en Baleares el terremoto de Lisboa	¿?		Bouvy, P. 1851
31 de enero de 1756	Santanyí	¿Ola sísmica?. “El mar entró más de media legua tierra adentro inundando las garrigas”	¿?º		Fontseré, 1918
2 de julio de 1763	Santa María del Camí	No ocasionó grandes desgracias	¿?		Fontseré 1918
26 de mayo de 1764	Sencelles	¿?	¿?		Fontseré 1918
7 y 8 de diciembre de 1773	Palma de Mallorca	No hubo desgracias ni notables desperfectos. Susto general.	V		Fontseré, 1918
14 de mayo de 1783	Inca	Sin víctimas ni grandes daños.	V-VI		Fontseré 1918
1827	Sineu	Se cayeron muebles. Susto general.	VI		Bouvy, P. 1851
17 de abril de 1831	Ciudadela (Menorca)	Sin daños significativos	V		Oléo y Quadrado, 1914
15 de junio de 1835 y días siguientes	Palma de Mallorca	Temblo de edificios. Dirección SW-NE.	V		Fontseré, 1918
15 de mayo de 1851 y días siguientes (20,21 y 22 de mayo)	Palma y Marratxí	Daños en la Catedral de Palma, derrumbe de la cúpula de la Iglesia de San Rafael. Caída de la Torre del Ángel. “El terremoto parece haber venido del mar y el movimiento se manifestó a lo largo de toda la cordillera N de la isla”. “En la Font Santa de aguas termales de Campos, se observó un aumento de la temperatura del agua y la salida abundante de gas hidrógeno sulfurado”.	VIII		Bouvy, 1851
7, 28 de junio de 1851	Palma de Mallorca	Destrucción de la Iglesia de San Marcial	VII		Bouvy, P. 1851
28 y 31 de agosto, 16, 17 y 28 de septiembre, 9 de noviembre y 22 de diciembre de 1851.	Palma de Mallorca	Ligeros temblores sentidos por la población	IV		Bouvy, P. 1851
11 de mayo, 4 y 10 de junio de 1852	Palma de Mallorca	Ligeros temblores sentidos por la población	IV		Fontseré, 1918
31 de agosto de 1852	Palma de Mallorca	Causó pánico en Palma, huyeron muchas personas de sus casas	V		Fontseré, 1918
20 y 21 de agosto de 1856	Mahón (Menorca)	Temblo de tierra y flujo de mar que inundó todo el muelle del puerto y rompió los amarres de los barcos.			Fontseré, 1918
31 de marzo de 1858	San Cristóbal (Menorca)	Oscilación de lámparas y movimiento de muebles. Pánico general.			Fontseré, 1918
6 de mayo de 1887	Palma de Mallorca	Ligero temblor	III		Fontseré, 1918
7 de septiembre de 1887	Palma de Mallorca	Temblo	IV		IGN
4 de marzo de 1890	Ciudadela (Menorca)	Temblo con ruido.	IV		Fontseré, 1918
28 de julio de 1912	Ciudadela (Menorca)		VI		IGN
25 de diciembre de 1916	Ibiza	Epicentro submarino	V		Fontseré, 1918
5 de febrero de 1918	Mallorca	Epicentro submarino	VII		Fontseré, 1918
8 de octubre de 1919	Montuiri		V		IGN
22 de octubre de 1921	Sencelles		IV		IGN
9 de abril de 1923	Sa Pobla		IV		IGN
4 de julio de 1923	San Joan		III		IGN
10 de agosto de 1927	Ciudadela (Menorca)		III		IGN
1 de junio de 1973	NW de Ibiza			3,7	IGN
23 de enero de 1993	Ferrerries (Menorca)			3,0	IGN
24 de septiembre de 1994	NE de Baleares		III	4,5	IGN
1 de marzo de 1995	Campos del Puerto		III	2,6	IGN
25 de octubre de 1995	NE de Menorca			4,2	IGN
2 de abril de 1996	Sa Pobla			3,0	IGN
6 de abril de 1996	N. de Menorca			3,0	IGN
9 de abril de 1996	Sencelles			2,8	IGN

Cuadro. 3. Relación de los principales terremotos registrados en el Archipiélago Balear



## **Capítulo 5**

### **DINÁMICA LITORAL**

#### **5.1. - INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se pretende caracterizar los aspectos meteorológicos e hidrodinámicos del litoral de la Serra Norte de Mallorca, así como los sedimentos recientes que se depositan en el borde más somero de la plataforma. Todo ello permitirá conocer la dinámica litoral responsable de la erosión y retroceso de los acantilados, así como relacionar el tipo y volumen de sedimentación litoral con la existencia de grandes movimientos de ladera en tierra. Otro aspecto importante será conocer los cambios eustáticos que, a lo largo del Cuaternario, han podido modificar los principales rasgos geomorfológicos de esta costa.

En cada una de las tres zonas de estudio definidas se analizará con más detalle la dinámica y sedimentación litoral (Capítulo 7), en base al mapa del litoral realizado a escala 1:25,000 en cada una de ellas.

#### **5.2- RÉGIMEN DIRECCIONAL Y ESCALAR DEL OLAJE**

Para la realización de este apartado se ha tomado como base de partida la información elaborada por el MOPU (1980) y MOPT (1992) a partir de los datos almacenados en la "Tape Date family 11" de la "National Weather Record Center", que recogen la siguiente información:

- Para el total de observaciones visuales registradas, se obtiene un par de valores: Altura de ola (Hv) y Período (Tv).
- Los valores de Hv y Tv y número de observaciones se refieren separadamente a estados de la mar "Sea" <sup>(1)</sup> y "Swell" <sup>(2)</sup>.

En este análisis de datos realizado por el Centro de Estudios y Experimentación de Puertos, se consideran sectores de 30°, cuyo origen comienza en 5° a partir del Norte (en el sentido de las agujas del reloj). En el litoral de la Serra de Tramuntana, se estimó que los sectores que podían tener influencia eran los comprendidos entre 245° y 64°.

Para conocer los regímenes escalares del oleaje para "Sea" y "Swell", se considera que la altura de ola Hv coincide con la altura de ola significativa Hs. Se trabaja con la hipótesis de que la variable Hs está distribuida según la ecuación de Weibull:

$$F(x) = 1 - \exp^{-(x-A/B)^C}, \text{ donde } A, B, C \text{ son parámetros de la distribución.}$$

En la Figura 25, se representan los regímenes escalares de oleaje, según la distribución de Weibull. En ordenadas se representan los valores de Hs en metros y en abscisas la Probabilidad de ocurrencia de ese oleaje. Tal y como se observa, los puntos para "Sea" y "Swell" se alinean en una recta.



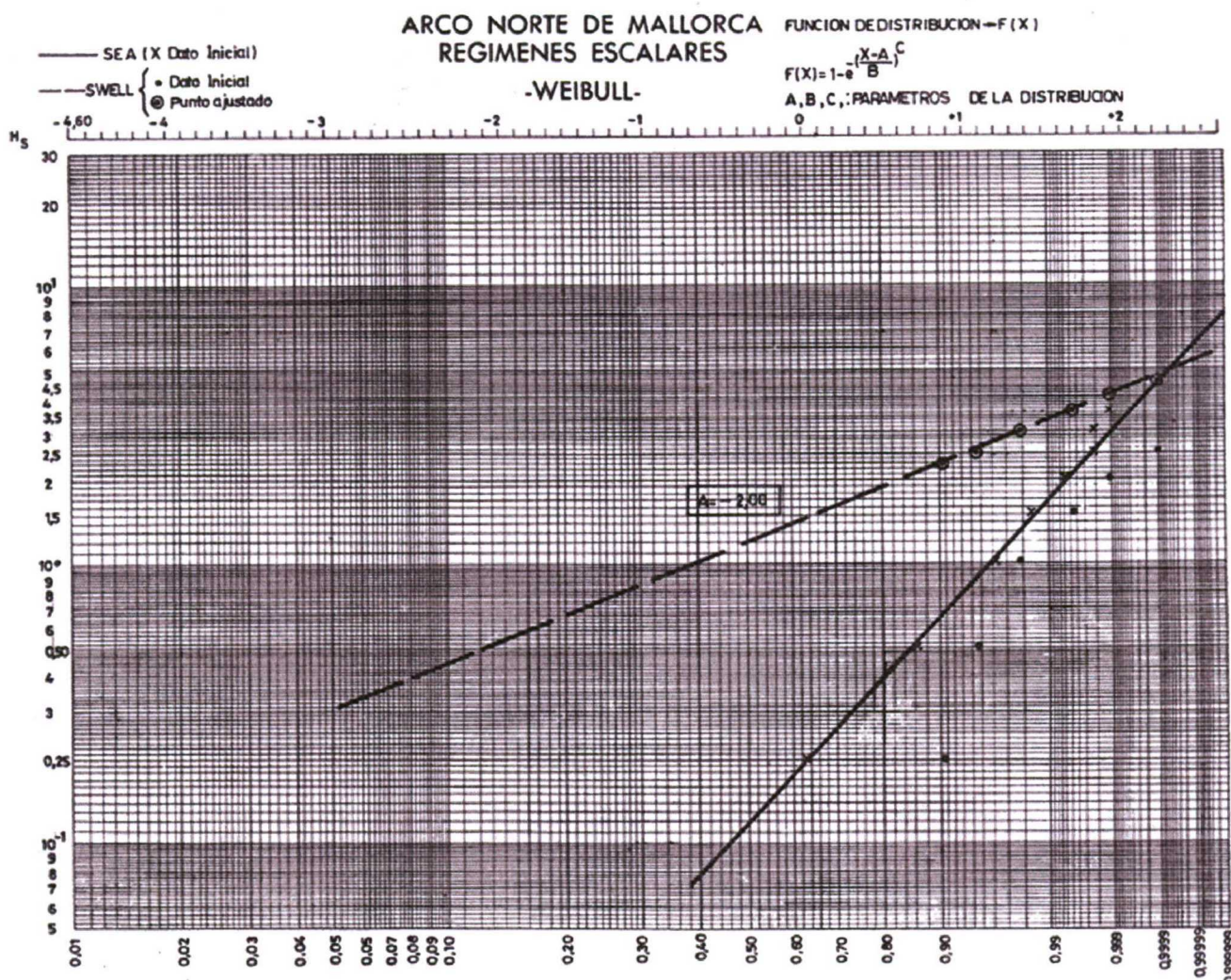


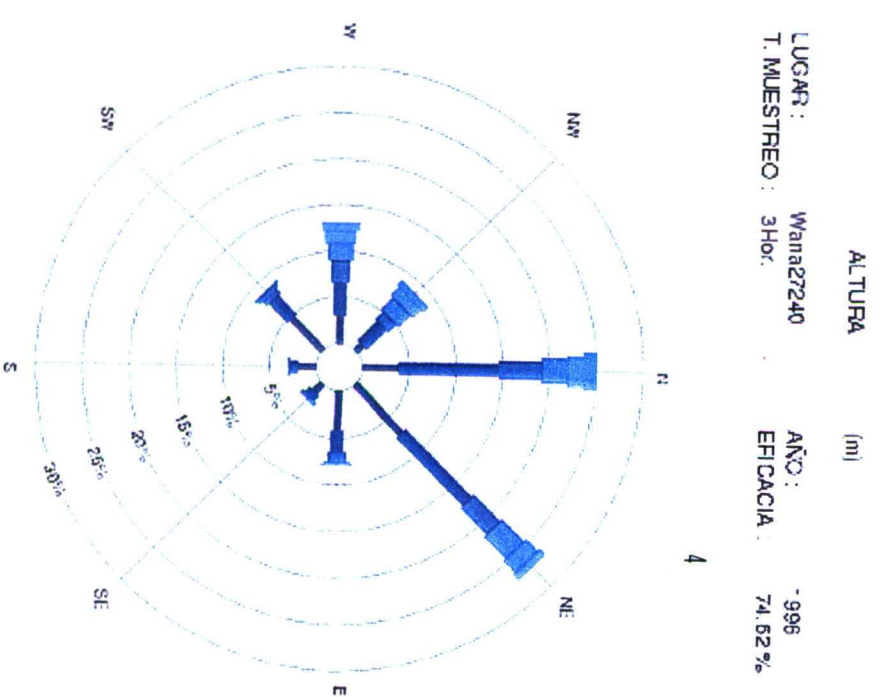
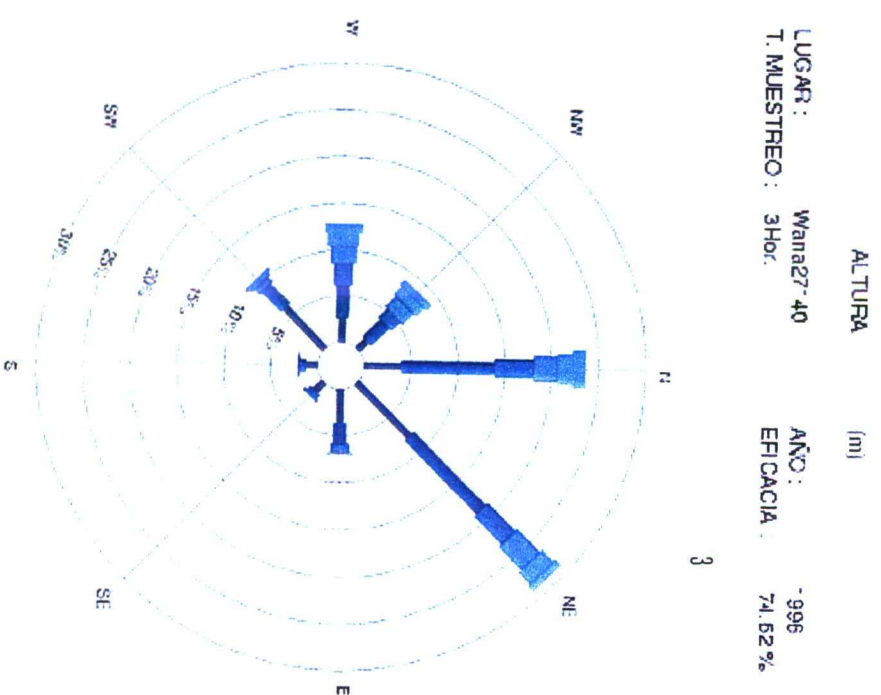
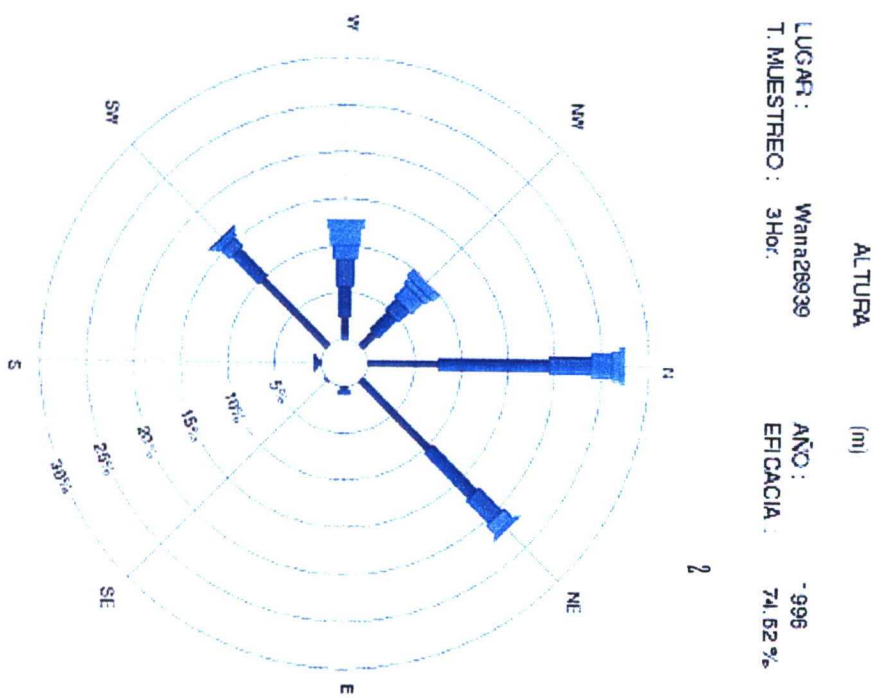
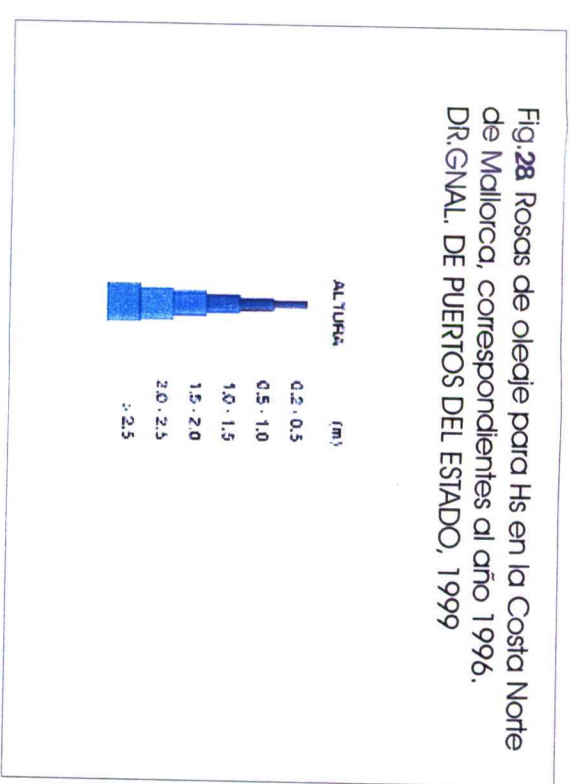
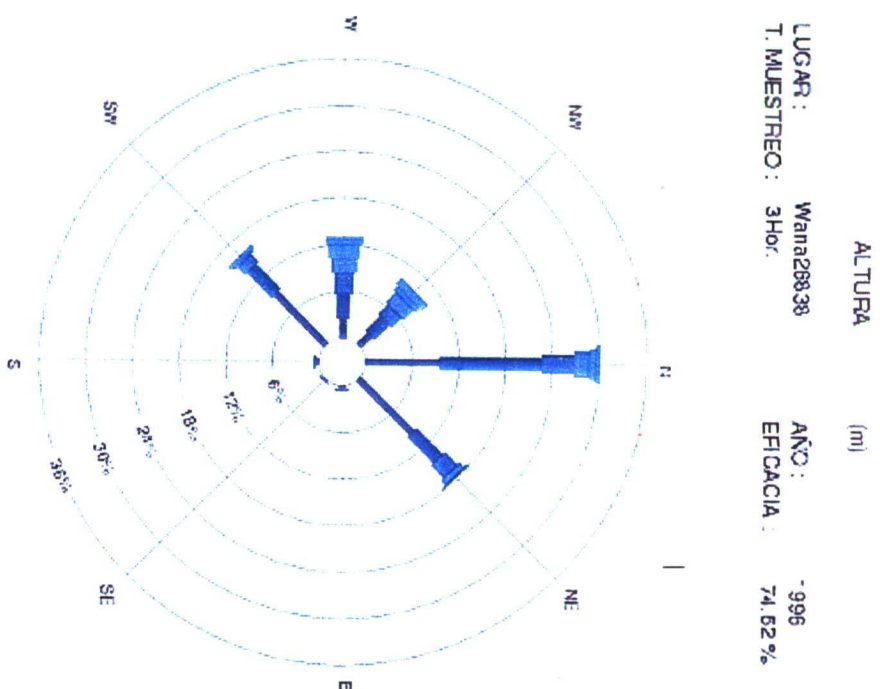
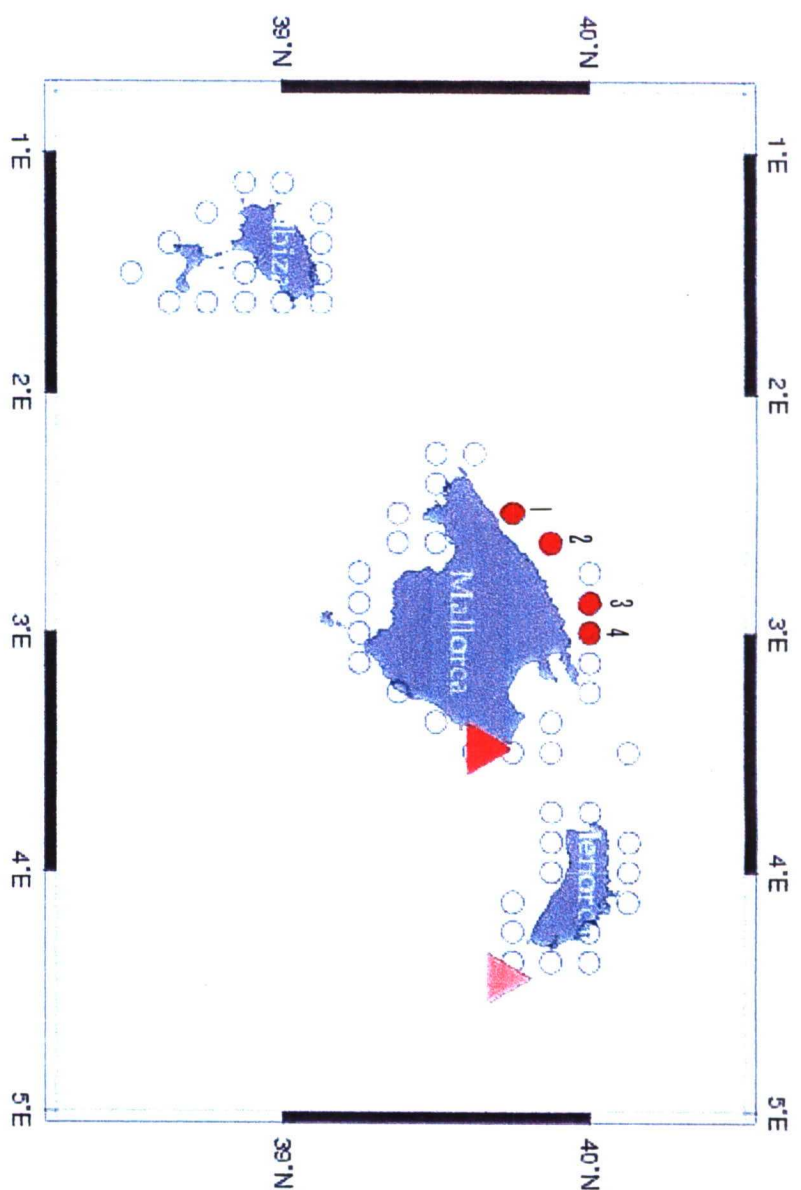
Fig. 25. Regímenes escalares de oleaje. Distribución de Weibull (MOPU, 1980)

- (1)- Sea: Perturbación de la superficie del mar generada por vientos locales. Existen simultáneamente ondas de varios períodos y alturas. La velocidad de fase de las ondas componentes es menor que la velocidad del viento.
- (2)- Swell: Olas que no están bajo la influencia directa del viento, bien porque éste cesó o porque se alejaron ya de la fuente o manantial. Pueden desplazarse decenas e incluso centenas de kilómetros desde su zona origen y según la dirección del viento sin ser mantenidas por éste.

A partir de los resultados obtenidos, se representan las rosas de oleaje correspondientes a “Swell” y “Sea” del tramo de la costa objeto de estudio, indicándose la dirección probable y alturas de ola significantes (Figs. 26 y 27).

La DIRECCIÓN GENERAL DE PUERTOS DEL ESTADO, registra periódicamente en el litoral de la costa Norte de Mallorca, medidas de oleaje mediante radar de navegación (datos wana). En la Figura 28, se representan las rosas de oleaje para altura de ola significativa ( $H_s$ ) correspondientes al año 1996, en diferentes puntos de esta costa.







A la vista de los datos expuestos, se pueden establecer las siguientes conclusiones relativas a los regímenes de oleaje en el litoral de la Serra de Tramuntana:

- La perturbación de la superficie del mar generada por vientos locales (Sea) es la más común en este litoral. Los frentes de oleaje con mayor altura de ola, hasta 3 m, proceden del NE y N, que coincide con la dirección de mayor frecuencia de vientos. Los vientos procedentes del SW generan frentes de olas de menor magnitud, con alturas de olas frecuentemente inferiores a los 2 m.
- La altura de ola significativa está directamente relacionada con el fetch del frente de oleaje. A mayor fetch, mayor altura de ola. En la costa Norte de Mallorca, los valores máximos de Fetch registrados son los siguientes (PUERTOS DEL ESTADO, 1999), que corresponden con los frentes de oleaje con mayor altura de ola:

NE – 900 Km

N – 300 Km

NW – 275 Km

- Los frentes de oleaje “Sea” procedentes del NW son menos frecuentes en este litoral (<5%) con altura de olas que en ocasiones pueden llegar a los 3 m. Este oleaje tiene gran importancia al ser perpendicular a la línea de costa de la Serra de Tramuntana.

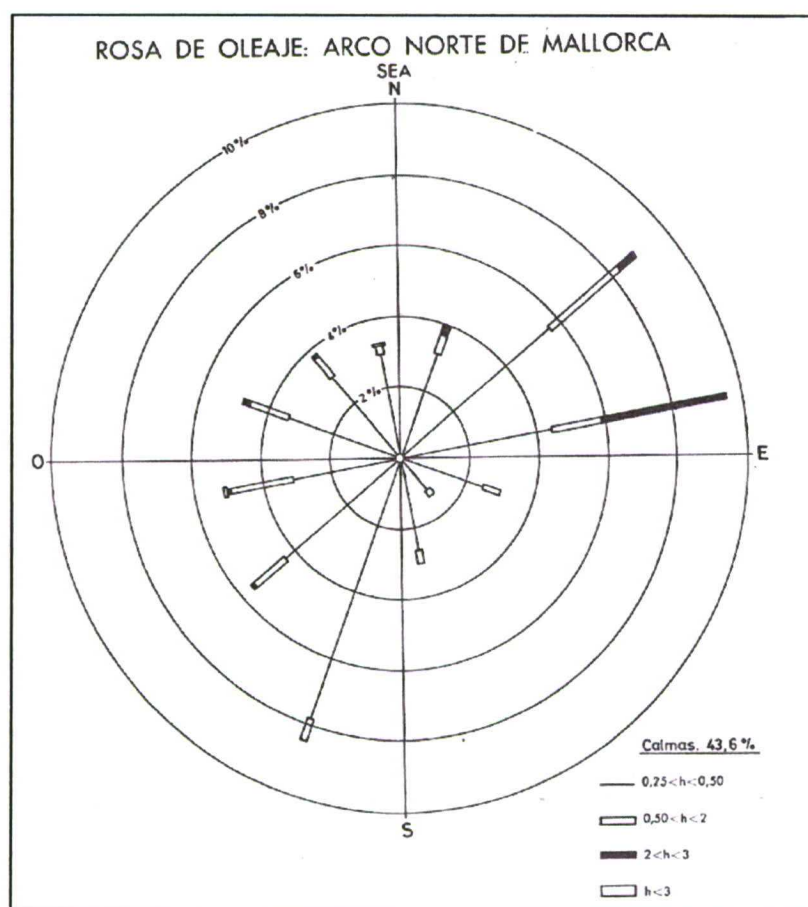


Fig. 26 Rosa de oleaje “Sea”. Arco Norte de Mallorca. MOPU, 1980

- Las perturbaciones superficiales del mar generadas por vientos alejados a la costa (Swell) son muy poco frecuentes en este litoral. Cuando se producen, los frentes de oleaje proceden básicamente del NE y con menor frecuencia del SW; la altura de ola es inferior a 2,5 m.
- Los frentes de oleaje de mayor energía en el litoral de la Serra de Tramuntana son los procedentes del N y NE.

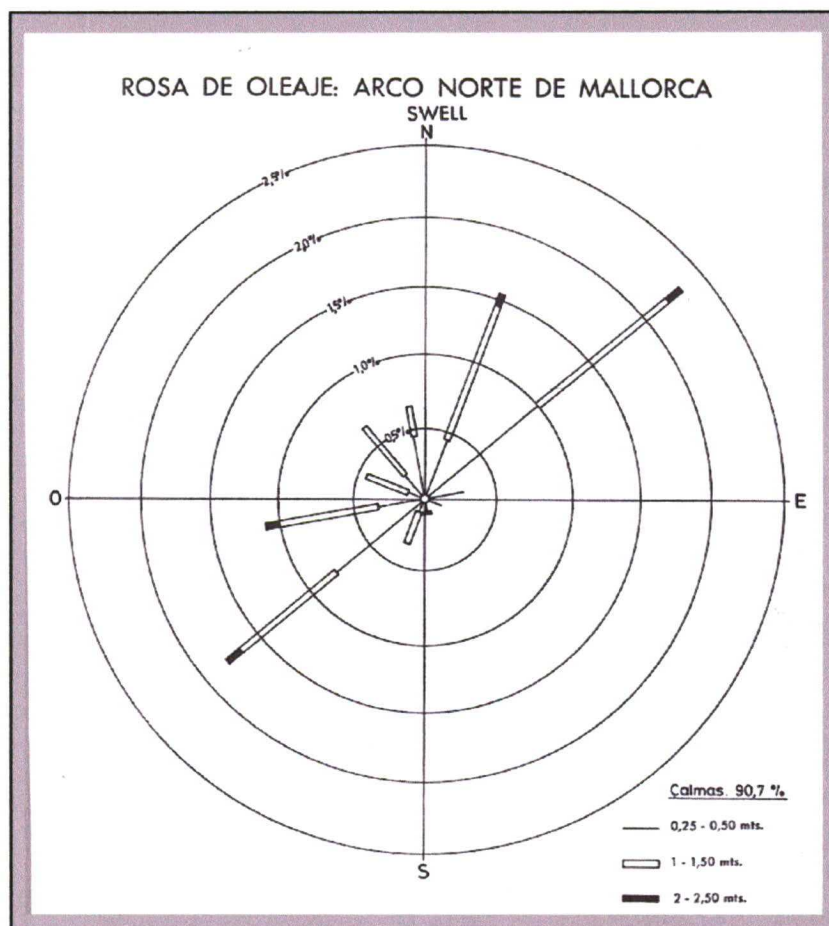


Fig. 27. Rosa de oleaje "Swell". Arco Norte de Mallorca. MOPU, 1980

### 5.3. - CORRIENTES Y MODALIDAD DEL TRANSPORTE DE SÓLIDOS

Los sólidos existentes en las masas de agua marina podrán ser transportados si existen corrientes marinas cuya velocidad sea suficiente para movilizarlos. Éstos sólidos serán inestables mientras no estén defendidos del arrastre de estas corrientes y se moverán hasta profundidades donde ya las corrientes no tengan ninguna capacidad de transporte.

Las corrientes que pueden movilizar los sedimentos no consolidados en el litoral de la Serra de Tramuntana son las siguientes:



- Corriente permanente del Mediterráneo.
- Corrientes de arrastre.
- Corrientes de gradiente producidas en la costa por la acumulación de agua a sotavento.
- Corrientes de traslación producidas por el oleaje.

### 5.3.1. - Corriente permanente del Mediterráneo.

La existencia de esta corriente se debe al balance negativo de agua en el Mediterráneo, ya que se evapora mucha más agua de la que aportan los cursos fluviales. Por esta razón, es necesario un aporte de aguas atlánticas, mediante una corriente cuya velocidad es decreciente desde la superficie hasta el fondo y que poco a poco se va convirtiendo en una corriente de fondo. El espesor de la masa de agua es muy variable (60-220 m), con una  $T^a$  media de  $16^{\circ}\text{C}$  y una salinidad del 36‰ (TORRES, 1995).

La corriente general del Mediterráneo entra bordeando la costa africana hasta la isla de Sicilia, donde se divide en dos ramas: la primera que penetra en el Mediterráneo oriental, y la segunda que bordea las costas italianas del Mar Tirreno y Mar de Liguria, las francesas del Golfo de León y las mediterráneas del levante español, bordeando de forma paralela la costa de poniente de las Islas Baleares con una resultante hacia el NW (Fig.29). Esta corriente, al pasar por la costa noroccidental de la Isla de Mallorca está ya muy debilitada en caudal. La velocidad de esta corriente es máxima en septiembre, con una velocidad de  $0,215\text{ m/s}$  y decrece de forma lineal hasta casi anularse en el mes de enero MOPTMA (1995).

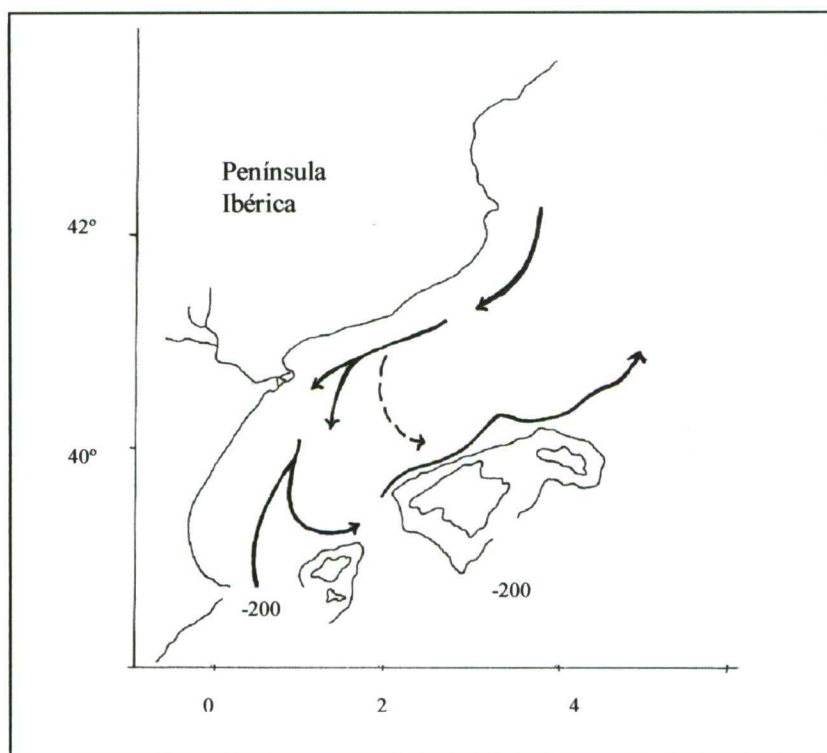


Fig. 29. Corriente general del mediterráneo. Detalle del levante español y mar Balear. Modificado MOPTMA, 1995.

### 5.3.2. - Corrientes de arrastre

Son corrientes superficiales producidas por un viento determinado que sopla con una velocidad  $U$ .

La velocidad  $V$  de estas corrientes de arrastre viene determinada por la ecuación de Ekman:

$$V = \frac{0,0127U}{\sqrt{\sin \varphi}}$$

Siendo  $\varphi$  la latitud del lugar, que para el centro de la costa Norte de Mallorca se estima de  $40^\circ$

El valor modular de  $V$  decrece proporcionalmente con la profundidad, hasta un valor 0 a una profundidad  $Z$ , que según la ecuación de Ekman está relacionada con la velocidad del viento incidente según la relación:

$$Z = 7,6 \frac{U}{\sqrt{\sin \varphi}} \qquad Z = 9,5[U]$$

La dirección de las corrientes de arrastre se desvía  $45^\circ$  hacia la derecha en superficie en relación con la dirección del viento (efecto Coriolis) y  $180^\circ$  a la profundidad  $Z$ .

En base a la recopilación de más de 1300 observaciones de vientos en esta costa (Fig. ), se ha podido establecer los valores de las velocidades máximas de arrastre que pueden afectar a este litoral según la procedencia del viento (Fig. ):

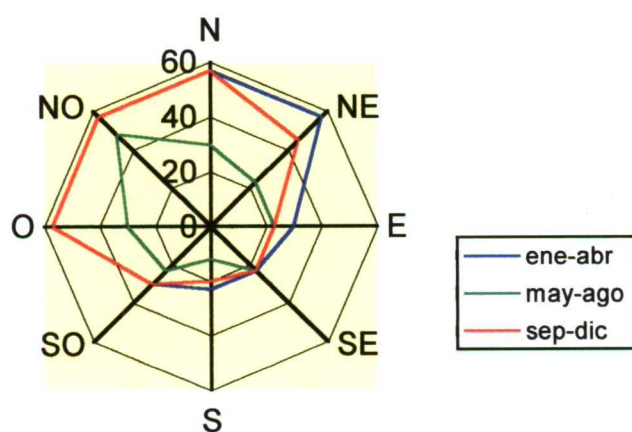


Fig.30. Diagrama de velocidades máximas del viento (según su procedencia) en nudos

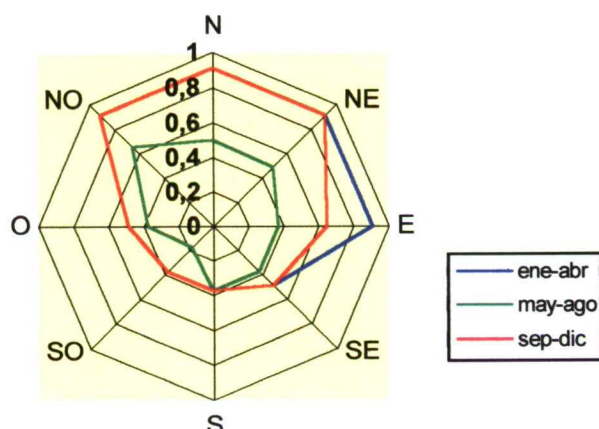


Fig.31. Diagrama de las velocidades máximas de las corrientes de arrastre en nudos, según su procedencia.



El análisis de estos diagramas nos permite establecer las siguientes conclusiones:

1. Los vientos más fuertes que afectan a este litoral son los procedentes del NO, con velocidades de hasta 30 m/s. Se producen generalmente en los meses otoñales e invernales. Estos vientos perpendiculares a la costa generan corrientes superficiales de arrastre superiores a 0,45 m/s, con dirección de procedencia N.
2. Los vientos de procedencia N y O pueden ser fuertes en los meses invernales y últimos meses otoñales, con velocidades de hasta 29 m/s, generando corrientes de arrastre de hasta 0,45 m/s de procedencia NE y NO respectivamente.
3. Los vientos de procedencia NE presentan sus máximas velocidades (hasta 30 m/s) en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre, siendo poco intensos el resto del año. Los días de fuerte intensidad generan corrientes de arrastre de procedencia E de hasta 0,45 m/s.
4. Las velocidades máximas de vientos detectadas son de 30 m/s, por lo tanto las corrientes de arrastre que pueden generar se anulan a una profundidad  $Z = 9,5 [W_{\text{máx}}]$ , es decir de 285 m, que aproximadamente coincide con la batimétrica que envuelve la plataforma de Mallorca y Menorca.

### 5.3.3. - Corrientes de gradiente

Estas corrientes se generan en las costas cuando los vientos soplan normalmente a ellas, produciendo una acumulación de agua a sotavento y por lo tanto, una corriente refleja que automáticamente, y por el efecto de Coriolis, girará 90° hacia la derecha. Las velocidades de estas corrientes de gradiente se rigen por las mismas ecuaciones que las de arrastre y dependerá de la velocidad del viento que las genera.

Los vientos perpendiculares a la costa de la Serra Norte de Mallorca son los procedentes del NO; éstos generarán corrientes de gradiente de sentido hacia el NE, paralelas a la costa, y con velocidades máximas de hasta 0,45 m/s. En la Figura 32 se representan las velocidades máximas mensuales de estas corrientes registradas en el litoral objeto de estudio, a partir de la velocidad de los vientos procedentes del NO.

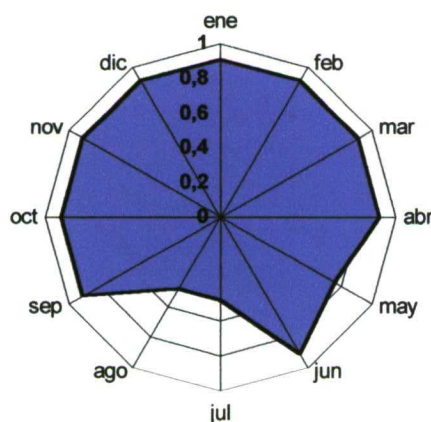


Fig. 32. Velocidades máximas mensuales (en nudos) de las corrientes de gradiente de sentido NE en el litoral de la Serra de Tramuntana.

En este punto es importante resaltar que las corrientes paralelas al litoral van de punta a punta de ensenadas, creando en el interior de las mismas corrientes con el mismo sentido que la principal pero constituyendo un remolino independiente. Este fenómeno puede ser importante en playas o calas cerradas como el Port de Sóller, cala de Banyalbufar, cala Deià etc

#### 5.3.4. - Corrientes producidas por el oleaje

Las olas se generan en mar abierto por fricción del viento sobre la masa de agua. Cuando una ola se aproxima a la costa llega un momento en que su nivel de base ( $1/2$  longitud de onda) alcanza el fondo. A partir de este punto ocurre lo siguiente: (a) la fricción con el fondo produce un frenado del movimiento de traslación de la ola mientras que la parte superficial continúa a la misma velocidad, (b) la incompresibilidad del agua y la resistencia del fondo fuerzan al movimiento orbital a transformarse en oscilatorio cerca del fondo y obligan a la cresta a levantarse sobre la superficie del agua y (c) comienza el transporte de sedimentos sobre el fondo. Cuando finalmente la ola se desequilibra y rompe, se pone en suspensión gran cantidad de sedimento que se mueve hacia tierra en la masa de remolinos en que se transforma la ola. Una vez que ésta sube por la zona de batida y se detiene, vuelve hacia el mar arrastrando el sedimento y lo abandona cuando frena bruscamente al pie de la zona de batida al chocar con las olas que llegan. Este movimiento de vaivén en dirección normal a la costa adquiere una componente de traslación paralela a la orilla cuando las olas inciden oblicuamente. Se produce entonces una deriva litoral, que no es una corriente en sentido estricto sino un efecto de arrastre por olas sucesivas (Fig. 33).

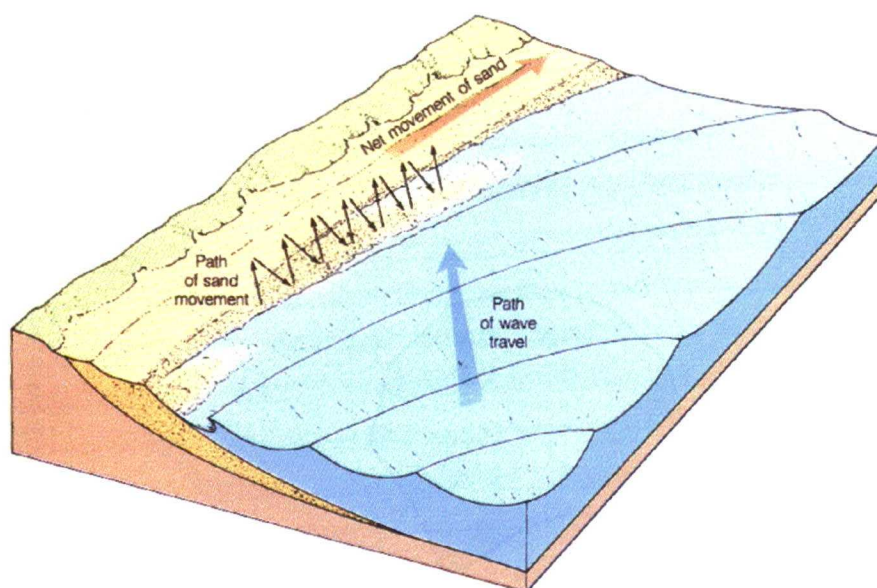


Fig. 33. Deriva litoral. Transporte de sedimento paralelo a la costa. Kenneth Hamblin, 1996.



De esta forma, existen dos direcciones predominantes de transporte en el litoral inducidas por el oleaje: una controlada por las olas incidentes, que se dispone más o menos perpendicular a la costa, y otra longitudinal a la costa conocida como deriva litoral. Además se pueden considerar un tercer tipo de corrientes inducidas por el oleaje, que son aquellas que se generan al abrigo de cabos y salientes (abrigo diferencial).

Las corrientes de deriva litoral tienen gran capacidad de transporte y se producen entre la zona de rompientes y la zona de batida del oleaje. Como los ángulos de incidencia de los frentes de oleaje varían según cambie su origen, el sentido de la deriva litoral puede invertirse incluso a corto plazo.

Las olas de período corto generadas por vientos diurnos afectarán continuamente a la costa, pero tendrán un efecto muy limitado sobre el fondo, aún a pequeñas profundidades. Sin embargo, las olas de largo período tendrán un efecto mucho más intenso sobre el fondo y el transporte de sedimentos. El Mediterráneo occidental, al tener un Fetch limitado, se caracteriza por olas de períodos cortos.

Según datos del oleaje en Mallorca (DR. GNAL. PUERTOS DEL ESTADO, 1999), aproximadamente el 65% de los registros, presentan períodos inferiores a 5 segundos. Cuanto menor sea el período, mayor es la velocidad del frente de olas y menor la longitud de onda, y por lo tanto un mayor número de olas va a incidir sobre la costa.

Los temporales que afectan al litoral de la Serra de Tramuntana generan frentes de oleaje de procedencia N, NE y con menor frecuencia del NW, con alturas de olas de hasta 3 m. Considerando un valor medio de la pendiente de la plataforma adyacente de 8° (según mapas de litoral realizados para este trabajo), el nivel de base del oleaje estimado no supera la batimétrica de 30 m.

En Baleares, los temporales suelen coincidir con bajadas de la presión barométrica y en consecuencia se apila agua sobre la costa dando lugar una “sobre-elevación” del nivel del mar que permite al oleaje, con un intenso poder erosivo, alcanzar zonas altas del litoral. El agua apilada contra la costa tiende a volver al mar abierto generando corrientes de resaca, que arrastran el sedimento removido hacia el mar. Estas corrientes de resaca asociadas a los temporales pueden tener velocidades verdaderamente importantes y con una gran capacidad de transporte de fragmentos rocosos de diámetros superiores a 0,5 m. (MOPTMA, 1992).

Por otra parte, la orientación de la línea de costa y la orografía determina que el tramo de costa estudiado esté sometido a oleajes de procedencia norte y oeste. La existencia de obstáculos en forma de islotes y de diversos salientes (Sa Foradada, Els Farallons, Punta Deià etc...), condiciona unos procesos de reflexión y difracción del oleaje bastante complejos. Como es bien sabido, los fenómenos de difracción del oleaje concentran la energía en los salientes de la costa (Fig.34) y la dispersan en los entrantes (playas y calas).

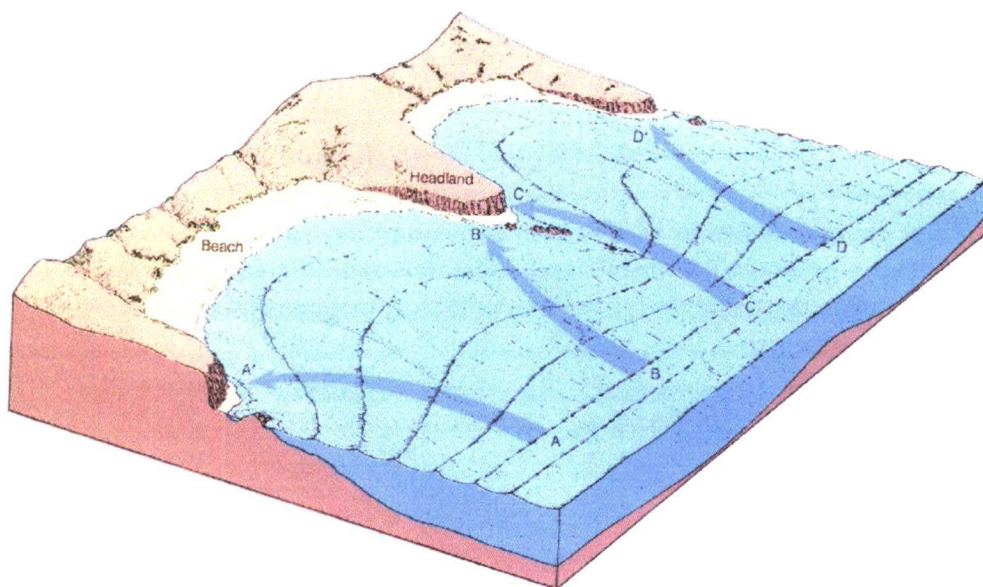


Fig. 34. Refracción del oleaje. Concentra la energía en los salientes de la costa. Kenneth Hamblin, 1996.

Como conclusiones de este apartado relativo a las corrientes y modalidad de transporte, se pueden establecer las siguientes:

1. La corriente general del Mediterráneo occidental en la costa Norte de la Isla de Mallorca tiene una dirección paralela al litoral vergente hacia el NE, con una velocidad máxima en el mes de septiembre de 0,4 nudos. Esta corriente de procedencia atlántica circula bordeando la plataforma continental balear, entre los 200 m de profundidad y la superficie.
2. Cuando las corrientes de arrastre o gradiente producidas por el viento coincidan en dirección y sentido con la corriente general del Mediterráneo, se producirá la máxima velocidad que pueden tener las corrientes en superficie, con valores de hasta 1,2 nudos (0,62 m/s).
3. Las corrientes de arrastre o gradiente máximas se anulan a una profundidad de 250 m, que aproximadamente coincide con la batimétrica que envuelve la plataforma continental de la Isla de Mallorca. Estas corrientes tienen una capacidad de transporte de áridos de tamaño de grano de hasta 1cm, según fórmula de arrastre de Newton Entelwein, (MOPU, 1980).
4. El litoral de la Serra de Tramuntana está sometido a frentes de oleaje de procedencia norte y oeste, con altura de olas de hasta 3 m. La presencia de numerosos salientes a lo largo de esta abrupta costa, condiciona complicados procesos de difracción y reflexión del oleaje. El nivel de base del oleaje se estima en la batimétrica de 25 m.



5. El movimiento de áridos dentro de las pequeñas playas y calas a lo largo de esta costa se debe primordialmente a las corrientes de oleaje producidas en los temporales. Grandes temporales producen el internamiento de áridos en el mar.
6. Las mareas son de escasa importancia en el Mediterráneo occidental. La oscilación máxima detectada es de unos 0,2 m (MOPTMA, 1995). Dada la poca amplitud en la oscilación del nivel del mar, las zonas litorales de esta costa carecen de zona intermareal propiamente dicha. En verano pueden producirse oscilaciones bruscas en el nivel del mar asociadas al paso de frentes barométricos, que sólo suelen tener consecuencias en entrantes de mar estrechos y poco profundos.

#### 5. 4. - SEDIMENTOLOGÍA LITORAL

La información referente a sedimentología litoral en la Serra de Tramuntana se ha obtenido a partir del trabajo realizado en 1992 por la Dirección General de Costas del MOPT, titulado “Estudio Geofísico Marino de la Costa Norte de la Isla de Mallorca”. Este trabajo aporta la siguiente información básica:

- Espesor de sedimentos no consolidados entre la batimétrica –10 m y –50 m
- Morfología del fondo marino
- Reconocimiento geotécnico de los sedimentos.

Como consecuencia del carácter abrupto de la costa, cabe resaltar la marcada pendiente (estimada en unos 8°) de la plataforma continental hasta la cota –30 m aproximadamente, encontrándonos por lo general esta profundidad a distancias menores de 200 m de la línea de costa. A partir de esta batimétrica, que coincide prácticamente con el nivel de base del oleaje, los fondos marinos se suavizan. No obstante, la pendiente sigue siendo marcada en relación al resto de la plataforma continental de la Isla.

A grandes rasgos, la sedimentación de la plataforma balear se puede considerar como un ejemplo de plataforma carbonatada bajo clima templado. Son muchos los agentes productores de sedimentos carbonatados dentro de los ecosistemas actuales, aunque los más importantes que participan en la plataforma baleárica son las praderas de fanerógamas marinas (*Posidonia oceanica*), la comunidad del fondo detrítico costero (maërl) y la comunidad del coralígeno (FORNÓS, 1987).

Según FORNÓS (1987), la composición media de los sedimentos de la plataforma balear es biogénica en un 92,16%. Los sedimentos terrígenos están formados principalmente por fragmentos de rocas carbonatadas (calizas y dolomías) como resultado de la erosión de los relieves jurásicos, con una presencia de granos de cuarzo inferior al 2%. Otros tipos de rocas, entre los que se incluyen fragmentos de rocas volcánicas, sólo alcanzan un 0,02% del total de los sedimentos de la plataforma.

En el litoral de la Serra de Tramuntana, la sedimentación presente en la plataforma difiere de la descrita anteriormente para el conjunto de las Baleares. La presencia de sedimentación terrígena es mucho mayor (hasta el 70%), llegando localmente a ser predominante sobre la sedimentación biogénica. Este hecho constata que los aportes de sedimentos continentales al mar pueden ser importantes debido a la acción erosiva del mar en los acantilados y al aporte de los torrentes. En el Cuadro 4 se recogen los valores medios de los análisis sedimentológicos realizados por la Dirección Gnal. De Costas del MOPT (1992), en numerosos sondeos mecánicos a lo largo de la costa NO de la Isla de Mallorca.

% Materia orgánica	% Bioclastos	% Cuarzo	% fragmentos de rocas carbonatadas	% otros fragmentos de otros tipos de rocas (volcánicas etc....)
1,005	22	4	68,5	4,5

Cuadro 4. Composición de los sedimentos marinos en el litoral de la Serra de Tramuntana (valores medios). Fuente de datos: Dr. Gnal. De Costas del MOPT (1992).

Respecto a la sedimentación actual de origen biogénico, más de un 50% de los bioclastos corresponden a fragmentos de corales, gasterópodos, bivalvos y foraminíferos.

Las cuencas que vierten aguas continentales directamente a la zona de estudio corresponden a torrentes estacionales, con un recorrido de escasos kilómetros debido a la proximidad al mar de la divisoria de aguas. Estos cursos torrenciales aportan menos sedimentos al litoral de lo que cabría esperar. Destacan los torrentes de Estellencs (sector SO de la zona de estudio), Son Bunyola (Port des Canonge) y el de Sa Marina de Valldemossa, que presentan en su desembocadura la formación de pequeños deltas con la acumulación de grandes bloques.

El aporte de sedimentos detríticos al litoral proviene principalmente de la erosión de los acantilados costeros por la acción del oleaje y los múltiples movimientos de laderas litorales que este hecho desencadena (fig.35). De hecho, la principal característica de este litoral es su carácter abrupto, con la acumulación de grandes bloques (de hasta varios cientos de toneladas de peso y varios metros cúbicos de volumen) en la base de los acantilados, que condiciona su muy difícil acceso por mar y tierra.

Son numerosos los ejemplos que implican un enorme riesgo por movimientos de ladera en acantilados costeros, teniendo en cuenta la gran presión humana durante los meses estivales que sufre este litoral. Tal es el caso de la cala de Banyalbufar (Ferrer et al, 1997), cala Deià (Mateos, 1998), cala Estellencs etc..., que constituyen pequeños accesos al mar para miles de visitantes, y se caracterizan por una activa dinámica litoral de retroceso de acantilados.





Fig. 35. Acantilado costero en Cala Lluch- Alcari (Deià). Obsérvese los movimientos de ladera generados por la acción del oleaje y la sedimentación acumulada en la base del acantilado.

La sedimentación litoral puede ser la clave para confirmar la existencia de grandes movimientos de ladera en la Serra. Con esta finalidad se han realizado los mapas de dinámica y sedimentación litoral en cada una de las zonas de estudio, donde además del tipo y granulometría del sedimento acumulado, se representa el espesor de sedimentos recientes no consolidados. Como se verá más adelante, al analizar cada una de las tres zonas de estudio definidas, la presencia de grandes deslizamientos en tierra, se refleja en el litoral con un mayor espesor de sedimentos no consolidados (isopacas de hasta 23 m.) y una granulometría grosera. Este hecho queda perfectamente constatado en la franja costera de Banyalbufar, en la zona litoral al NE de la localidad de Sóller (Puig de Bàltx) y en la franja costera entre Sa Costera y Cala Tuent, donde se han cartografiado deslizamientos de ladera en superficie de cierta envergadura.

### **5.5. - CAMBIOS EUSTÁTICOS EN EL MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL DURANTE EL CUATERNARIO: INCIDENCIA EN EL LITORAL DE LA SERRA DE TRAMUNTANA.**

El medio litoral se asocia a cambios continuos, tanto a escala geológica como histórica ancestral y reciente. El origen principal de estos cambios está ligado a las oscilaciones del nivel del mar que controlan la emersión o anegación (migración espacio/temporal) de esta zona de tránsito entre ambientes terrestres y acuáticos.

Las variaciones de nivel del mar en el Mediterráneo occidental no sólo tienen influencia en el medio litoral (en sentido estricto) de la Isla de Mallorca, sino que estas fluctuaciones determinan en gran parte los procesos geomorfológicos que a lo largo del Cuaternario hayan podido tenido lugar en la Serra de Tramuntana.

En cuencas exorreicas, como la que nos ocupa, el nivel de base final es el mar. Bajadas del nivel del mar causarán una reactivación de los cursos torrenciales y una mayor capacidad erosiva del medio. Los procesos de dinámica de laderas serán más activos y, sin tener en cuenta los regímenes pluviométricos, la sedimentación coluvial y aluvial que se produzca será más potente.

Respecto a la hidrología subterránea, y en especial el medio kárstico, la posición del nivel del mar determina la posición del nivel piezométrico del sistema y por lo tanto las fases de disolución y/ o precipitación de éste. Bajadas del nivel del mar dejarían en estado vadoso o al aire grandes cavidades kársticas y como consecuencia importantes procesos de derrumbes. Los cañones kársticos se encajarían aún más, verticalizando sus paredes y con una mayor ocurrencia de desplomes y caídas de rocas.

Numerosos autores (BLOOM et al., 1974, BARD et al., 1990 etc.) han realizado estudios de las variaciones globales del nivel del mar desde el Pleistoceno medio a la actualidad (Fig.36). Para el caso que nos ocupa de la costa norte del litoral mallorquín, los estudios de investigadores locales tales como POMAR et al. (1987) y GINÉS & GINÉS (1989), nos permiten conocer las variaciones eustáticas en el Mediterráneo occidental durante el Cuaternario. Estos autores correlacionan las oscilaciones del nivel piezométrico de los sistemas kársticos litorales con las fluctuaciones del nivel del mar durante el Pleistoceno. Las cotas alcanzadas por el nivel piezométrico quedan registradas en el interior de algunas cuevas costeras de Mallorca por medio de cristalizaciones freáticas depositadas en el transcurso de los diversos episodios del Pleistoceno medio y superior.

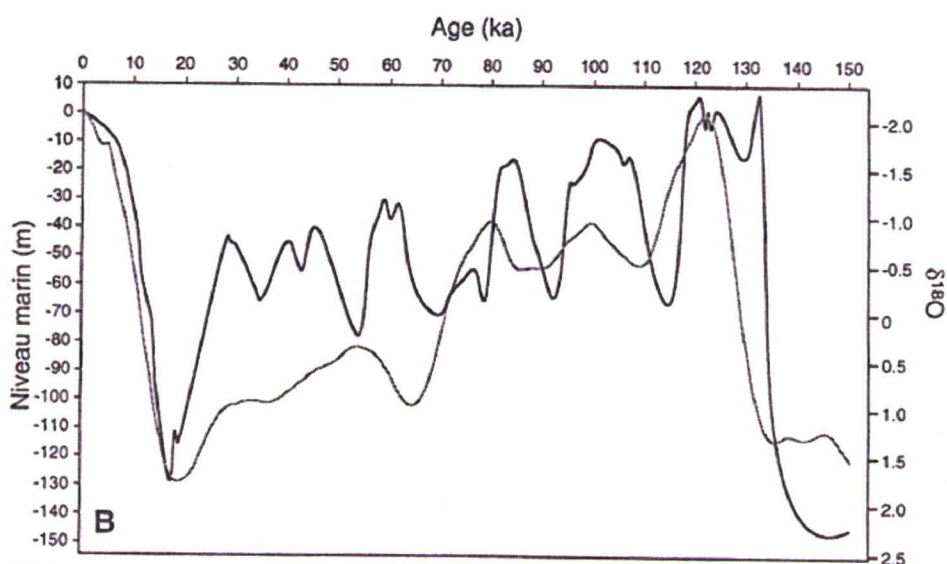


Fig.36. Curva de muy alta resolución de las variaciones del nivel del mar a escala global durante el Cuaternario terminal, obtenida a partir de trabajos de BLOOM et al (1974), CHAPPELL y SHACKLETON (1986), PINTER y GARDNER (1989) y BARD et al., (1990). La curva de trazo más claro corresponde a la curva SPECMAP obtenida a partir del estudio del contenido en  $\delta^{18}\text{O}$  de numerosos restos fósiles marinos de diferentes cuencas oceánicas.



Una aproximación relativa a espeleomorfología y cronología de ciertas cuevas costeras y sus sedimentos, puede ser obtenida en base a la correlación altimétrica existente entre estas alineaciones de espeleotemas freáticos y los depósitos marinos pleistocenos. En una primera aproximación, se pueden atribuir a los episodios interglaciares las etapas de fosilización llevadas a cabo por cristalizaciones subacuáticas, mientras que los descensos del nivel del mar asociados a los períodos glaciares se caracterizarán por procesos de estalagmitización en sentido estricto.

En la Fig.37 se representa la curva de fluctuaciones del nivel del Mediterráneo obtenida en base al estudio de paleoniveles freáticos (POMAR et al., 1987). Se han constatado numerosos niveles de cristalizaciones freáticas entre el nivel actual del mar y la cota +40 m., que corresponden a los principales episodios interglaciares, siendo el más significativo el interglaciar Mindel – Riss (Pleistoceno medio) con un alto del nivel del mar respecto a la cota actual de casi 40 m. Existen ciclos menores de ascenso del nivel del mar (al menos 8), con variaciones respecto a la posición actual de hasta 10 m.

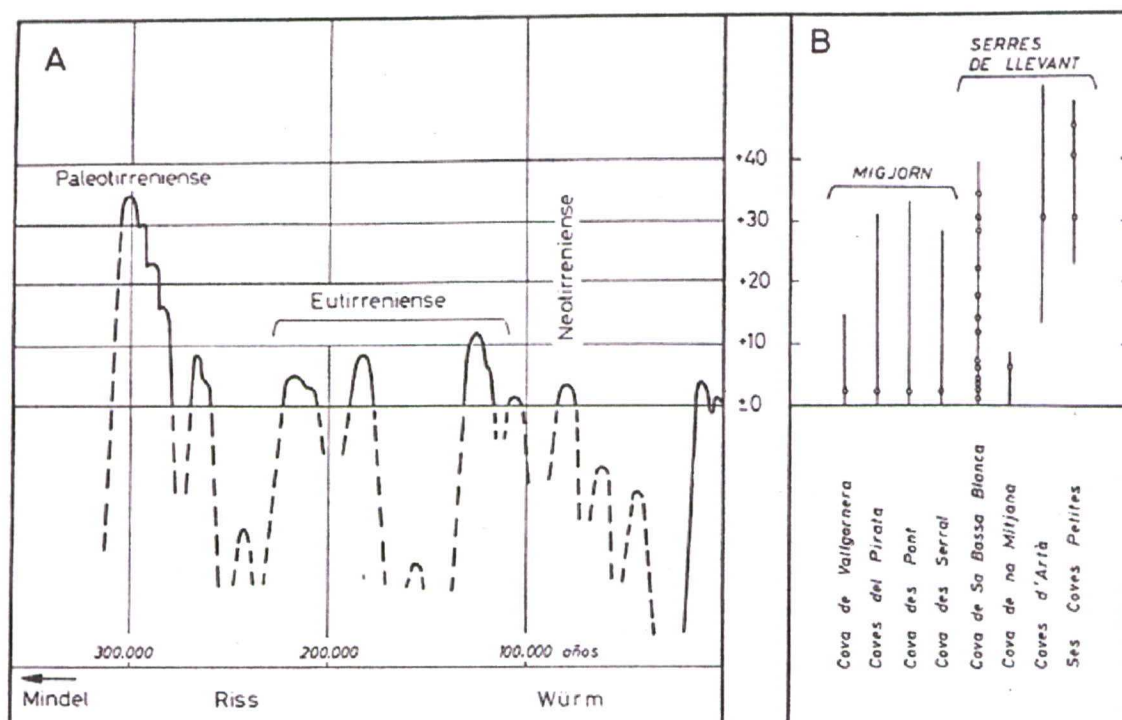


Fig.37. Fluctuaciones del nivel del Mediterráneo durante el Pleistoceno. POMAR et al, 1987

Posiciones altas del nivel del mar durante el Cuaternario se reflejan también en el registro sedimentario con algunos restos de eolianitas y retazos de playas que se han conservado en algunos puntos de la costa acantilada de la Serra Norte. En la zona del Port d'es Canonge existen algunos afloramientos de playa pleistocénica Eutyrrheniense a unos dos metros de altitud. Estos sedimentos marinos descansan sobre una potente masa de aluviones atribuidos al Pleistoceno medio (I.T.G.E., 1991).

En el Port de Sóller afloran restos de dunas pleistocénicas correspondientes al período interglaciario Riss-Würm. Además, junto a las proximidades del antiguo lazareto de Sóller, existen dos niveles de abrasión marina, de edad Pleistoceno superior, a 7 y 4 metros sobre el actual nivel del mar. Otros restos de playa pleistocénica atribuidos al Eutyrrheniense han sido localizados a unos 2 m sobre el mar en S'Illot (Sóller).

Respecto a las bajadas del nivel del mar en el Mediterráneo occidental durante el Cuaternario reciente, son de gran interés los estudios llevados a cabo por los investigadores franceses MÉAR (1984); SAVOYE Y PIPER (1993) en la Riviera francesa. En la Fig. 38, se representa la curva obtenida por estos autores para los últimos 40 Ka. Se observan bajadas importantes del nivel del mar respecto a su posición actual de hasta 100 metros durante los estadios glaciares del Würm. La última bajada importante tuvo lugar hace tan solo 23,000 años (Paleolítico medio).

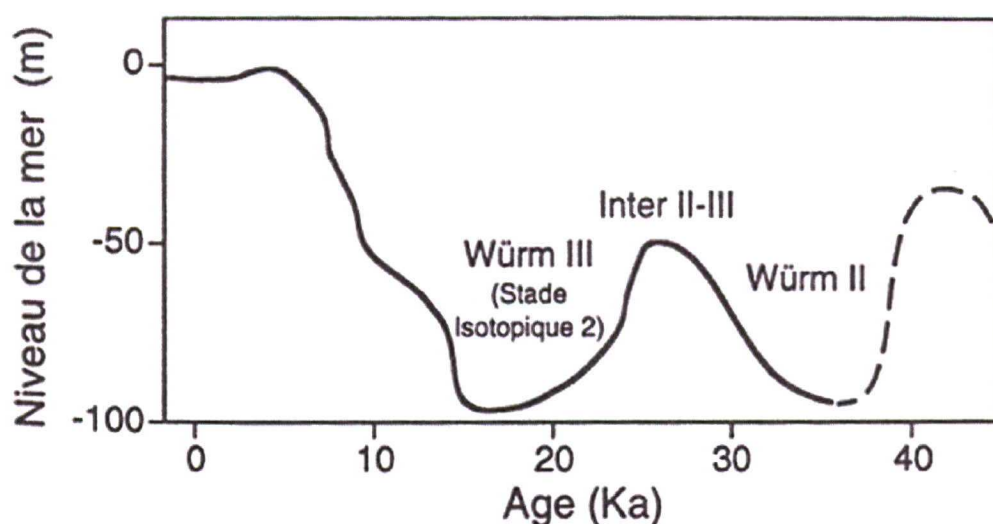


Fig.38. Curva de variaciones eustáticas para los últimos 40 Ka en el Mediterráneo occidental, (MÉAR, 1984; SAVOYE y PIPER, 1993).

Los potentes depósitos coluviales del Pleistoceno ¿superior? que aparecen adosados a algunas laderas de la Serra y desconectados del relieve actual podrían estar asociados a las bajadas del nivel del mar ligadas a la última glaciación. Estos depósitos aparecen “colgados” en algunas laderas de la Sierra de Alfàbia en su vertiente litoral y en la ladera norte del vértice de Planicie (Banyalbufar). Son depósitos potentes de bolos y grandes bloques de calizas con una fuerte cementación, que corresponden a las zonas apicales de grandes mantos coluviales, implicando una dinámica de laderas intensa.

Existen también a lo largo de la Costa norte depósitos torrenciales, bastante potentes, cortados por la actual línea de costa. El ejemplo más significativo aparece en la Cala de Estellencs, donde se puede observar un paleocauce relleno por una potente sedimentación torrencial con tamaños de bloques de hasta 2,5 m de diámetro (Fig. 39). Esta sedimentación delata un antiguo curso torrencial muy energético y con una gran capacidad de transporte, que desembocaba a cotas inferiores respecto a la actual posición del nivel del mar. La disposición de material suelto en la cuenca de recepción del torrente debía ser enorme y pueden observarse diversos episodios de reactivación del torrente en la secuencia sedimentaria del acantilado.



Otro ejemplo de antiguo curso torrencial cortado por la actual línea de costa puede observarse en la cala de Deià, en cuyo extremo oeste aflora una potente sedimentación fluvial cortada por el actual torrente que desemboca en la cala. Por otro lado, la forma tan cerrada y sinuosa de la esta cala podría corresponder a un antiguo cauce torrencial inundado por el mar.



Fig. 39. Paleocauce en el acantilado de la Cala de Estellencs

Como conclusiones de este subapartado se pueden resumir lo siguiente:

1. El nivel del Mediterráneo occidental en los últimos 500,000 años ha sufrido numerosas fluctuaciones, con amplitudes de hasta 140 metros. El último período glaciario, hace tan solo 23,000 años, produjo una bajada de casi 100 metros del nivel del mar respecto a su posición actual.
2. Los procesos geomorfológicos en la Serra de Tramuntana están muy ligados a las fluctuaciones eustáticas. No sólo en el medio litoral (s.estricto), sino en cuanto a los procesos que tienen lugar en el sistema torrencial, kárstico y de vertientes se refiere.
3. Un mayor dinamismo de las laderas y de la actividad torrencial en este margen de la Serra Norte, que queda patente en el registro sedimentario actual, podría estar ligado a posiciones más bajas del nivel del mar que conllevaría a un descenso del nivel de base de los torrentes y a un aumento general de las pendientes.

## **CAPÍTULO 6**

### **CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MATERIALES QUE CONSTITUYEN LA SERRA DE TRAMUNTANA. CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA**

#### **6.1- CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MATERIALES QUE CONSTITUYEN LA SERRA DE TRAMUNTANA**

En este capítulo se han recopilado numerosos datos de laboratorio de diferentes Empresas privadas y Organismos Públicos, que han permitido caracterizar desde el punto de vista geotécnico los materiales que constituyen la Serra de Tramuntana. Los datos han sido obtenidos a partir de informes existentes de las siguientes fuentes:

- Servicio Geológico de Obras Públicas. MOPTMA
- Instituto Tecnológico y Geominero de España.
- H<sub>2</sub>O S.L
- Laboratorio Balear para la Construcción
- I.G.T.E.C. S.L

La ubicación de los sondeos de investigación y reconocimiento recopilados, cuyos testigos han sido ensayados en diferentes laboratorios de mecánica de suelos y rocas, se representan en los mapas geológicos de las tres zonas diferenciadas en este trabajo.

Aquellos materiales de los que no se dispone de datos previos, han sido estudiados en campo para el presente trabajo, obteniéndose muestras alteradas para su estudio en laboratorio. Los valores de Resistencia a Compresión Simple se han obtenido a partir de numerosos ensayos con el Martillo de Smichdt N/L “in situ”, en diferentes puntos de afloramiento de estas formaciones geológicas. Los ensayos realizados para esta investigación, se han llevado a cabo en los Laboratorios de Mecánica de Suelos y Rocas del Instituto Tecnológico y Geominero de España.

Este capítulo se ha estructurado en el estudio individual de cada conjunto litológico de los diferentes materiales que constituyen la Serra de Tramuntana. En algunos casos éstos coincidirán con períodos geológicos y en otros, con distintas formaciones o unidades litológicas dentro de un mismo período. Para cada grupo litológico, se definen previamente los diferentes tramos que lo constituyen y, si es posible, se analizan los parámetros geotécnicos para cada uno de ellos.

Los materiales del Oligoceno (calizas, areniscas, margas y conglomerados), no han sido analizados en este capítulo, ya que aunque afloran extensamente al SW de la Serra de Tramuntana (zona Calvià- Andratx) no tienen representatividad en las tres zonas seleccionadas para este trabajo, tan sólo un pequeño afloramiento en torno al Puig de l'Ofre. .



### 6.1.1- Areniscas y lutitas del Buntsandstein (Triásico inferior)

Estos materiales afloran a lo largo de la costa en la mitad SW de la Serra de Tramuntana, en el tramo comprendido entre las localidades de Estellencs y Valldemossa. El afloramiento más extenso es el del Port des Canonge, que se extiende desde la Cala de Son Bunyola hasta la Punta d'es Cavall, donde enlaza con el afloramiento de la Cala de Valldemossa.

#### Descripción litológica

La unidad cartográfica de estos materiales está constituida por tres tramos litológicos bien diferenciados, que de muro a techo son:

- Lutitas rojas micáceas con niveles centimétricos de areniscas blancas, con un espesor superior a los 100 m. Aflora en Es Racó de S'Algar, al SW de la localidad de Banyalbufar.
- Areniscas blancas y rojas de grano medio con intercalaciones de limolitas y microconglomerados. Aparecen en bancos de 0,5-1,5 m de potencia. Presentan estratificación cruzada a gran escala de tipo festoneado. Las areniscas están formadas por granos subangulosos de cuarzo (30-70%) y fragmentos de pizarras (5-10%). Este tramo aflora muy bien representado en la Cala de Estellencs. El espesor aproximado es de 120 m.
- Lutitas micáceas rojas y verdes con intercalaciones de areniscas blancas. Con un espesor superior a los 20 m. Aparece muy tectonizado y generalmente cubierto por derrubios actuales.

En conjunto se trata de depósitos fluviales, representando los niveles lutíticos facies de llanura de inundación.

#### Propiedades geomecánicas

##### *a) Niveles lutíticos*

Se ha tomado una muestra correspondiente a las lutitas rojas del tramo inferior en la zona de Es Racó de s'Algar, obteniéndose los siguientes resultados de laboratorio:

Muestra	% Humedad	% CaCO <sub>3</sub>	WL	WP	IP
2-Lutitas Bunts	10,8	9,6	23,5	16	7,5

Cuadro 5. Resultados de laboratorio realizados a las lutitas rojas del Buntsandstein. Afloramiento zona Es Racó de S'Algar.

Los mismos materiales de naturaleza lutítica afloran en un talud de la carretera C-710 entre las localidades de Estellencs y Banyalbufar, presentando en superficie un aspecto muy alterado (descascarillado) como resultado de los procesos de meteorización física: sheeting y slacking. Se han realizado en campo numerosas mediciones con el Martillo de Schmidt para obtener un valor aproximado de Resistencia a Compresión Simple de los niveles lutíticos del Buntsandstein, obteniendo en todos los casos valores inferiores a 100 Kp/cm<sup>2</sup>.

Si aplicamos los criterios de NAVFAC, 1971, para estimar el ángulo de rozamiento interno de suelos finos no cohesivos compuestos principalmente de cuarzo, se puede otorgar un valor aproximado para estos materiales de 32°.

Se trata por lo tanto de rocas blandas - suelos duros (DE FREITAS, 1992) con comportamiento de suelos cuando están muy alterados en superficie, de baja plasticidad, con un bajo contenido en carbonatos y con valores de Resistencia a Compresión Simple inferiores a 100 Kp/cm<sup>2</sup>.

#### *b) Niveles de areniscas*

Respecto a los niveles arenosos de colores rojos o blanquecinos que predominan en el tramo intermedio de la serie estratigráfica del Buntsandstein, se han realizado dos análisis mineralógicos por Difracción de Rayos X a sendas muestras tomadas en diversos afloramientos del Port des Canonge. Los resultados se recogen en el siguiente cuadro:

	Nº3. Areniscas amarillentas	Nº2. Areniscas rojas
Mineral principal	Cuarzo	Dolomita
Otros minerales	Feldespato potásico	Cuarzo, calcita y hematites
Accesorios y trazas	Mica	Feldespatos, Mica y Clorita

Cuadro 6. Resultados de laboratorio de las litologías de areniscas del Buntsandstein. Afloramiento del Port des Canonge.

Ante la no disponibilidad de ensayos de laboratorio en testigos de sondeos, se ha realizado una campaña en campo de toma de datos con el martillo de Schmidt en estas litologías arenosas, aprovechando los excelentes afloramientos en la cala de Estellencs. Los valores obtenidos de Resistencia a Compresión Simple con este método oscilan entre 400-500 Kp/cm<sup>2</sup>, lo cual correspondería a un comportamiento de rocas moderadamente duras (DE FREITAS, 1992).



### 6.1.2- Dolomías con intercalaciones margosas del Muschelkalk

Estos materiales del Triásico afloran en diversas zonas de la Serra de Tramuntana, principalmente en la costa debido a su posición estratigráfica. No obstante hay amplios afloramientos desde Son Serralta a Banyalbufar, al sur del Port d'es Canonge, en la Punta de Sa Foradada , en el pueblo de Deià etc....

#### Descripción litológica

En la punta de Son Serralta aparece la secuencia del Muschelkalk más completa, diferenciándose tres tramos litológicos principales, que de muro a techo son (ITGE, 1991):

- Dolomías oscuras muy bien estratificadas (tableadas), en capas de 0,5-1,5 m. La potencia de este nivel es de 80-90 metros.
- Alternancia de arcillas y limolitas rojas, margas dolomíticas grises, dolomías laminadas, carniolas y brechas dolomíticas, con un espesor del orden de 20 metros.
- Dolomías de color gris oscuro bien estratificadas (tableadas) en capas decimétricas y brechas dolomíticas con cantos de hasta 15 cm.. Ocasionalmente, hacia la parte media del tramo, aparece algún nivel de yeso gris. La potencia de este nivel es aproximadamente de 70 metros.

Los depósitos de las facies del Muschelkalk corresponden a materiales depositados en una plataforma somera en ambiente intermareal.

#### Propiedades geotécnicas

Se han podido recopilar datos geotécnicos de tres sondeos que se llevaron a cabo en la localidad de Deià (Fig. 40), donde se cortaron los materiales del Muschelkalk en el tramo intermedio de la secuencia. Los resultados quedan recogidos en el siguiente cuadro:

Sondeo-Muestra	Prof (m)	Litología	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	$\sigma_c$ (Kp/cm <sup>2</sup> )
Deià1-M1	5,10-5,36	Carniola con elevada porosidad por disolución. Huecos rellenos de arcillas ocreas.	2,31	191,02
Deià1-M2	7,92-8,10	Dolomía terrosa con planos de fractura muy marcados, a 45° respecto al eje del sondeo	2,39	161,53
Deià2-M3	5,10-5,23	Margas de colores ocreas, con planos de fractura muy marcados a 45° respecto al eje del sondeo	2,46	71,2
Deià2-M4	8,40-8,66	Dolomía terrosa, con planos de fractura a 45° y 60° respecto al eje del sondeo. Algunos niveles karstificados con poros rellenos de arcilla.	2,22	99,60
Deià3-M5	2,20-2,38	Carniola. Elevada porosidad secundaria	2,54	112,58
Deià3-M6	5,60-5,75	Dolomía margosa muy alterada. Planos de fractura a 45° y 60° respecto al eje del sondeo	2,24	80,20

Cuadro 7. Resultados de ensayos de laboratorio realizados a materiales del Muschelkalk



Fig. 40. Facies del Muschelkalk. Dolomías, dolomías margosas y niveles carníolares. Sondeo Deia nº 3. (H<sub>2</sub>O, 1998)

En afloramientos cercanos a la Cala de Estellencs, que corresponderían a los tramos basales del Muschelkalk, dolomías tabulares muy bien estratificadas, se ha realizado una campaña de campo de toma de medidas con el Martillo de Schmidt. Se han obtenido valores de resistencia a compresión simple entre 400-500 Kp/cm<sup>2</sup>

Tras el análisis de los datos obtenidos se puede concluir lo siguiente:

1. Las dolomías de aspecto terroso del Muschelkalk presentan unos valores medios de resistencia a compresión simple de 120 Kp/cm<sup>2</sup> (12 MPa). Según la Clasificación de HOEK & BRAY (1977) para rocas, son materiales con bajas resistencias a compresión uniaxial.
2. El valor de la resistencia a compresión uniaxial decrece con el carácter “margoso” de la muestra.
3. Existe una clara relación entre la densidad aparente del material y su resistencia a compresión uniaxial. La porosidad secundaria disminuye la resistencia de la muestra.

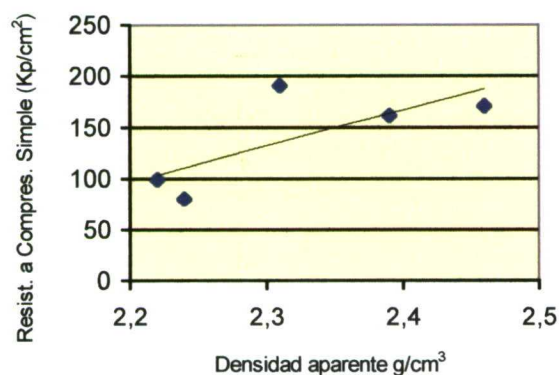


Fig.41. Relación entre la densidad aparente y la Resistencia a Compresión Simple. Litologías del tramo intermedio del Muschelkalk.



### **6.1.3- Rocas blandas y suelos versicolores del Triásico superior (Keuper)**

Regionalmente, los materiales del Keuper constituyen el nivel de despegue tectónico, por lo que aparecen muy laminados y deformados. Forman las zonas deprimidas y laderas suaves de la Serra, con potentes recubrimientos de derrubios y coluviones. Las facies del Keuper se reconocen por los tonos rojizos o gris-verdosos (por la alteración de rocas volcánicas) que confieren al terreno. La mayor extensión de estos materiales aparece al Este de Banyalbufar y en el Valle de Sóller.

#### **Descripción litológica**

Litológicamente, los materiales del Keuper están constituidos por margas y lutitas rojas u ocreas, niveles dolomíticos y carniolares y coladas volcánicas, así como evaporitas. Corresponden a facies Sabkha con un vulcanismo activo. La potencia del Keuper es difícil de estimar, probablemente sea superior a los 200 metros.

El I.T.G.E. (1991), establece una serie del Keuper en Cala Tuent con dos tramos diferenciados:

- Un tramo inferior con predominio de coladas volcánicas, diferenciándose de manera irregular basaltos olivínicos, tobas basálticas, brechas y piroclastos. Aparecen intercalados margas rojas, carniolas, dolomías y tobas.
- Un tramo superior con carniolas y margas ocreas, brechas y dolomías e intercalación de coladas volcánicas.

En ambos tramos se intercalan con frecuencia potentes niveles de yesos finamente laminados con intercalaciones centimétricas de argilitas rojas y verdes. Estos niveles yesíferos se han venido explotando tradicionalmente en canteras a cielo abierto: Son Senutjes, Can Bleda etc...

Se ha analizado la composición mineralógica de las diferentes litologías que constituyen los materiales del Keuper. Así los basaltos olivínicos están compuestos por plagioclasas, olivino, piroxenos, opacos y vidrio como minerales principales, y ceolitas y minerales arcillosos como accesorios. Como minerales secundarios aparecen óxidos de hierro, carbonatos, magnetita, serpentina, talco y arcillas.

Las tobas basálticas están compuestas por fragmentos de rocas volcánicas de tamaño arena fina a gruesa, que muestran una alteración ferruginosa. El cemento es dolomita microcristalina incluyendo algunos granos de cuarzo.

Las cineritas basálticas están compuestas básicamente por fragmentos de rocas volcánicas, granos de cuarzo y dolomita, con una matriz ferruginosa dolomítica.

Las lutitas rojas del Keuper (diversos afloramientos a lo largo de la costa) han sido analizadas por difracción de Rayos X, método de polvo cristalino. Como mineral principal se obtiene la Calcita, con Dolomita y Cuarzo en menor proporción, la mica y el caolín aparecen como minerales accesorios y trazas.

Muestra-sondeo	Prof. Muestra (m)	Litología	% CO <sub>3</sub> Ca	% SO <sub>4</sub> Ca	Wo %	$\gamma_s$ g/cm <sup>3</sup>	W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	% pasa por los tamices			$\sigma_c$ , Kp/cm <sup>2</sup>
									10	40	200	
3- S1 SGOP	46,45	Brechas volcánicas y cineritas	4		0,01	2,60						345,2
4- S1 SGOP	53,8		6		0,91	2,51						149,8
5- S1 SGOP	64,7		4		0,03	2,67						130,1
6- S1 SGOP	66,0		6		0,02	2,66						439,1
7- S1 SGOP	66,8		6		0,01	2,69						441,5
5- S9 SGOP	160,0	Brecha volcánica	6		0,02	2,74						159,8
6- S9 SGOP	161,0		4		0,03	2,73						139,2
7- S9 SGOP	167,0		6		0,01	2,71						287,1
8- S9 SGOP	168,0		0		0,02	2,74						209,9
3- S10 SGOP	99,0		0	0,02			21	9	100	88	84	
4- S10 SGOP	102,6		2				32	18	87	75	62	
1- S10 SGOP	44,4	Brecha volcánica alterada	4	0,03			27	14	76	56	34	
2- S10 SGOP	73,0		0	0,25			27	14	93	82	71	
1- S1 SGOP	18,05	Cineritas	19		0,26	2,45						88,6
2- S1 SGOP	32,6	Diabasa	13		0,10	2,62						142,0
1- S9 SGOP	98,5		6		1,00	2,53						448,4
2- S9 SGOP	102,85		6		0,98	2,48						123,8
3- S9 SGOP	103,15		4		0,99	2,43						191,4
4- S9 SGOP	108,9		4		0,60	2,40						208,3
1- S3 SGOP	125,8	Anhidrita	4				25	12	100	98	96	
2- S3 SGOP	142,4		4		0,06	2,38						258,4
3- S3 SGOP	151,45		59				16	6	99	91	84	
4- S3 SGOP	157,00		4		0,07	2,31						165,0
5- S3 SGOP	167,60		8		0,08	2,35						153,9
6- S3 SGOP	170,00		6		0,07	2,36						141,6
7- S3 SGOP	175,00		4		0,06	2,41						124,9
8- S3 SGOP	183,00		4		0,07	2,41						185,6
9- S3 SGOP	193,00		4		0	2,99						862,6
10- S3 SGOP8	208,00		4		0	3,08						945,5
1- S2 Valldemossa	4,05	Basalto serpentizado			1,61	2,72						140,31
2- S2 Valldemossa	4,50	Arcillas rojas con cantos de basalto muy alterado			3,42	2,32	37,4	18,4		78	32	57,66
3- S1 Valldemossa	4,10	Basalto muy alterado y fracturado			7,45	2,15						14,57
1- S ITGE Musquerols	137	Lutitas rojas con yesos										117,66
3- S ITGE Son Marc	20	Margas rojas y violáceas Muy alteradas	22,6		14,3		21,0	15,1		100	12	
4- S ITGE Son Marc	18	Margas oscuras con rocas volcánicas. Muy alterado	13,0		13,0		19,7	15,8		100	11	
1- S1 Esporles	4,3	Limos pardos grises arenosos			15,5	1,68	34	24,5	100			0,48
2- S1 Esporles	6,7	Arcilla gris parda			19,1	1,79	36,2	24,3	100			2,41

Cuadro.8. Resultados de laboratorio de los diferentes materiales del Keuper (suelos y rocas). Sondeos de reconocimiento e investigación del S.G.O.P. (1994) e I.T.G.E. (1995,1996,1997,1998).



Muestra-Sondeo	Prof. (m)	Litología	Wo%	$\gamma_s$ g/cm <sup>3</sup>	$\delta_a$ g/cm <sup>3</sup>	$\delta_d$ g/cm <sup>3</sup>	% pasa Tamices 4 200	Límites de Atterberg WL WP IP			$\sigma_c$ Kp/cm <sup>2</sup>	Triaxial $c'$ (Kp/cm <sup>2</sup> ) $\phi'$		Corte Directo $c'$ (Kp/cm <sup>2</sup> ) $\phi'$	
1-S1	2	Arcillas rojas con bolos de calizas y rocas volcánicas. Nivel de alteración	17,39	2,59	1,87	1,59		31,25	19,24	12,01	2,85			0,19	22°
3-S2	2,7						92,69 42,87	23,6	14,4	9,46					
4-S2	3,8						98,48 64,14				4,51				
13-S4	3,5		13,28		1,9	1,67		22,7	17,02	5,68				0,43	31°
14-S4	3,9		16,77				89,82 22,21	31,2	17,65	13,55					
15-S4	4,9							43,7	9,8	33,9	2,08				
18-S6	3,2				1,83			24,7	17,24	7,44					
19-S6	4,2				2,29	2,05	89,50 53,52	20,45	15,53	4,93	2,17			0,1	28°
20-S6	4,6		18,0				90,37 17,32	23,1	17,55	5,55					
22-S7	4,7		13,54		2,00	1,76	91,79 26,63	18,35	13,69	4,66					
24-S8	2,3				2,14						1,31				
25-S8	3,3		14,32		2,12	1,85		30,32	16,19	13,42	1,38				
26-S8	4,7		17,06		1,83	1,56		26,9	15,42	11,48	3,67			0,22	25°
29-S9	3,2		18,49		2,09	1,76					0,95				
30-S9	4,2		17,26		2,03	1,78	86,19 60,36	19,7	6,29	13,4				0,37	24°
31-S9	4,7				2,16			30,8	16,17	14,63					
32-S10	2,2										3,35				
33-S10	3,4										3,20				
34-S11	1,3		16,6		1,97							0,25	15°		
35-S11	4,5		18,1		2,01							0,2	9,5°		
36-S11	6,7				2,03	1,78	93,8 66,5	16,85	6,3	10,54				0,37	33°
37-S11	7										3,80				
38-S11	1				2,1						1,04				
39-S11	1,2				1,73						1,23				
2-S2	1,4	Arcillas de color rojo o verdosas	17,40		1,90	1,61	95,68 56,36	18,9	16,5	3,5				0,32	22°
5-S2	4,2		15,20		2,15	1,87					2,10				
8-S3	0,8										3,00				
9-S3	1,3		12,6		2,01	1,78		23,0	17,3	5,7				0,61	25,5°
12-S4	2,3							21,36	11,67	9,66					
17-S5	4		18,0		1,92	1,62					4,70				
21-S7	3,8		14,2		2,12	1,85		19,15	9,13	10,02				0,55	27°
27-S9	1,2		21,6		1,78	1,46								0,63	14°
6-S2	11,1	Basalto amigdaloides de color verde-violáceo. Alterado		2,650											
10-S3	3,7			2,512							307,7				
7-S2	12,5			2,706							477,3				
16-S4	7,1			2,595							70,7				
23-S7	10,2			2,460											

Cuadro.9. Resultados de los ensayos de laboratorio de los materiales del Keuper (suelos principalmente) de muestras correspondientes a la ladera del margen izquierdo del torrente de Fornalutx (t.m. Sóller). Sondeos I.C.O.N.A. (1977).

## Propiedades geotécnicas

En el Cuadro 8, se recogen los datos geotécnicos recopilados y obtenidos de los diferentes materiales del Keuper, obtenidos a partir de sondeos realizados por el S.G.O.P. (1994) e I.T.G.E. (1995, 1996, 1997, 1998). La descripción litológica ha pretendido ser lo más fiable posible, a fin de poder caracterizar las diferentes litologías.

I.C.O.N.A. (1977) realizó un estudio geotécnico de detalle en la ladera del margen izquierdo del Torrente de Fornalutx, a raíz de unos deslizamientos que tuvieron lugar meses antes en el citado sitio. Se han recopilado los datos geotécnicos obtenidos en la ladera, constituida básicamente por materiales del Keuper muy alterados y sus productos de meteorización. Además de los parámetros básicos de identificación y Resistencia a Compresión Simple en suelos y rocas, se dispone de valores de Cohesión y Ángulo de fricción efectivos de la ladera, obtenidos por ensayos de Corte Directo y Triaxial, ambos con consolidación previa y sin drenaje y con medida de las presiones intersticiales en el Triaxial. En la Fig.42, se representa la columna estratigráfica de la ladera del margen izquierdo del torrente de Fornalutx.

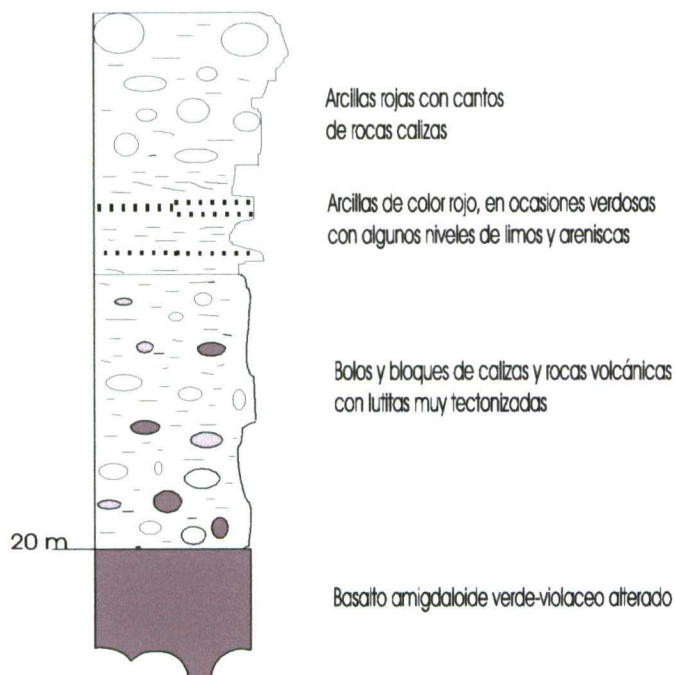


Fig. 42. Columna litológica de la ladera del margen izquierdo del torrente de Fornalutx.

El LABORATORIO BALEAR PARA LA CONSTRUCCIÓN (1998, 1999) realizó diversos sondeos con extracción de testigo continuo, en la localidad de Esporles y cerca del Coll de Sa Batalla en el t.m. de Escorca, todos ellos en materiales superficiales del Keuper. La particularidad de estos sondeos es que se realizaron ensayos de Presión de Hinchamiento en Edómetro, norma UNE-103-602-96. En el Cuadro 9', se recogen los resultados obtenidos.



Muestra-sondeo	Litología	$\gamma_s$ g/cm <sup>3</sup>	$\sigma_c$ Kp/cm <sup>2</sup>	Humedad Inicial %	Humedad final %	Presión de Hinchamiento KPa
1-S2 Esporles	Arcillas grises	1,84	2,41	15,8	17,3	35,7
2-S2 Esporles	Arcillas pardas	1,85	2,35	13,9	16,2	33,1
1-S1 Es Guix	Margas rojas con yesos		2,6			30
2-S1 Es Guix	Margas rojas con yesos		0,8			15,2
1-S2 Es Guix	Margas rojas con yesos		0,9			40

Cuadro.9'. Resultados de laboratorio de suelos del Keuper. Muestras de Esporles y Es Guix (t.m. Escorca). Datos LABORATORIO BALEAR PARA LA CONSTRUCCIÓN (1998, 1999).

*Conclusiones:*

a) En rocas (brechas volcánicas, diabasas y basaltos, anhidritas)

1. Los materiales del Keuper pueden tener un comportamiento geomecánico muy diferente según se presenten alterados o no. En estado inalterado presentan propiedades de rocas duras, con valores de Resistencia a Compresión Simple medias-bajas (Hoeck & Bray, 1977) que oscilan entre 14- 36 MPa. Los valores de  $\sigma_c$  más altos obtenidos corresponden a muestras profundas con predominio de Anhidrita.
2. El contenido en  $\text{CO}_3\text{Ca}$  de los materiales del Keuper es bajo, generalmente inferior al 10%, pero puede ser importante el contenido en  $\text{SO}_4\text{Ca}$  en sus fases hidratada (Yeso) y anhidra (Anhidrita).
3. Existe una clara relación entre la densidad seca de las diferentes litologías del Keuper y su Resistencia a Compresión Simple (Fig. 43). Las rocas evaporíticas de anhidritas consolidadas extraídas en el Sondeo n° 3 del SGOP (Cuadro 8) dan los valores más altos de densidad seca ( $\approx 3 \text{ gr/cm}^3$ ), que se corresponden con los valores más elevados de Resistencia a Compresión Uniaxial obtenidos ( $\approx 90 \text{ MPa}$ ).

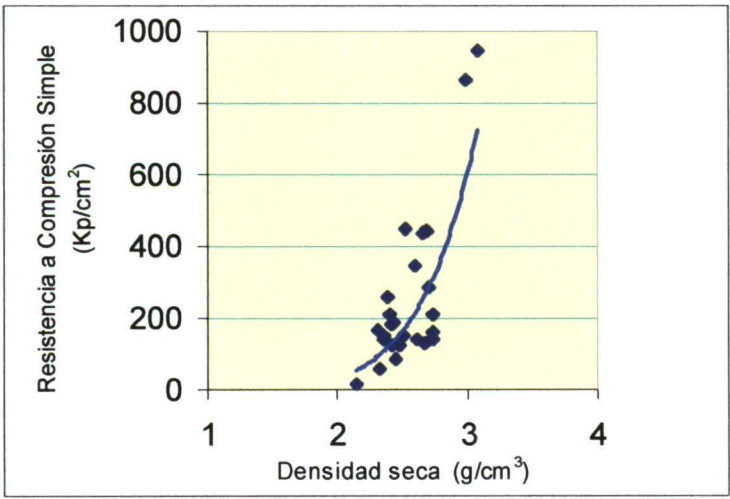


Fig.43. Relación entre los valores de densidad seca y la resistencia a compresión simple en las diferentes rocas volcánicas del Keuper.



Fig. 44. Testigos de sondeo de las diabasas del Keuper.

En el siguiente cuadro se representan los valores modales de los parámetros geotécnicos más representativos de las diferentes rocas que aparecen en los sedimentos del Keuper (a partir de Cuadros 8 y 9 ):

Litología	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Resistencia a C. Simple $\sigma'_c$ (MPa)	Módulo de Elasticidad E (MPa)	% CO <sub>3</sub> Ca
Brechas volcánicas con cineritas	2,62	301,5	$1,3 \cdot 10^4$	5
Brechas volcánicas poco alteradas	2,73	200	$1,3 \cdot 10^4$	6
Diabasa	2,5	220	$1,5 \cdot 10^4$	6
Anhidrita	2,23	165	$1,1 \cdot 10^4$	4

Cuadro. 10. Valores modales de los principales parámetros geotécnicos de los diferentes tipos de rocas que aparecen en los sedimentos del Keuper.



b) en suelos (arcillas y lutitas versicolores, margas rojas y violáceas, cineritas)

1. - Los materiales del Keuper alterados y meteorizados presentan comportamientos geomecánicos de suelos. Suelen alterarse a arcillas y limos de colores rojos, en ocasiones verdosos o violáceos, con presencia de rocas volcánicas, calizas y/o yesos. Estos niveles alterados del Keuper suelen tapizar algunos valles de la Serra (Sóller, Esporles etc...) o constituir el sustrato de numerosas laderas sobre los que se disponen materiales coluviales a aluviales recientes. Es en éste último caso donde se pueden producir deslizamientos de cierta importancia, al actuar estos materiales alterados del Keuper como nivel lubricante, que al activarse, puede movilizar los sedimentos cuaternarios sobreimpuestos.

En base al estudio de ICONA (1977) en la ladera de Fornalutx sobre estos materiales con comportamiento de suelos del Keuper, y de algunos otros sondeos dispersos por diferentes áreas de la Serra, se puede establecer una caracterización geotécnica de estos suelos, que se resumen en el siguiente cuadro (valores modales):

Litología	$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	P Hincha (KPa)	Granulometría % pasa Tamices		L. Atterberg			$\sigma_c$ Kp/cm <sup>2</sup>	Resistencia al Corte	
			4	200	LL	LP	IP		C' (Kp/cm <sup>2</sup> )	$\phi'$
Arcillas rojas con cantos de calizas y rocas volcánicas	1,76	33	91,5	50	21,5	20,2	11,5	2,4	0,37	27°
Arcillas rojas y verdosas	1,7	30	95,6	56	20,6	13,7	7,2	3,2	0,52	22°
Brecha volcánica muy alterada			90	70	27		14			
Anhidrita	2,3		100	90	20		8	?	?	
Basalto muy alterado	2,15		78	32	34,7		18	14,57	?	

Cuadro. 11. Valores modales de los principales parámetros geotécnicos de los diferentes tipos de suelos del Keuper.

2.- Según el Sistema Unificado de clasificación de Suelos (1962), estos materiales residuales del Keuper constituyen suelos de grano fino de baja- media plasticidad: limos inorgánicos, arenas finas limosas (ML) o bien arcillas inorgánicas, arcillas con grava, arcillas limosas, arcillas arenosas (CL). En la Fig.45 se representa el cuadro de Plasticidad de Casagrande para los diferentes materiales definidos; se observa que todos ellos están en el campo de la baja plasticidad (CL / CL-ML).

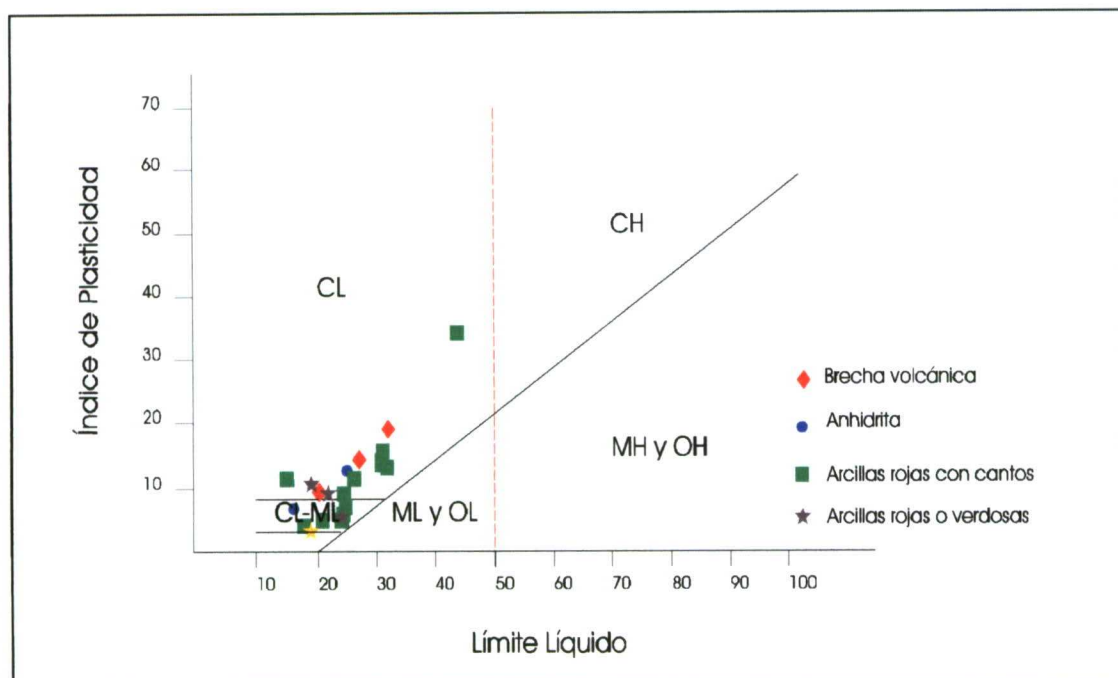


Fig. 45. Gráfico de Plasticidad de Casagrande para los diferentes suelos residuales del Keuper.

3.- Se han establecido diferentes relaciones entre los parámetros geotécnicos de identificación y los valores de resistencia de los suelos. En la Fig. 46 se representa la relación entre el Índice de Plasticidad y el Ángulo de Rozamiento interno efectivo de las arcillas rojas y verdosas del keuper. La franja resaltada en color más oscuro representa el campo de relación entre ambos parámetros y coincide estrechamente con lo apuntado por otros autores para suelos coherentes (JIMÉNEZ SALAS, 1975; BJERRUM, 1960).

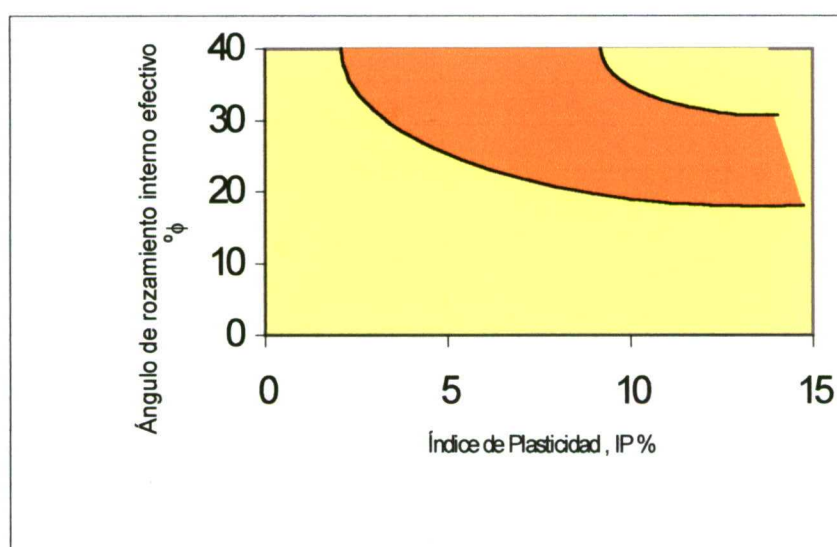


Fig. 46. Relación IP-  $\phi'$  para las arcillas rojas y verdosas del Keuper



4. - Existe una relación entre densidad aparente y el ángulo de rozamiento efectivo en las arcillas versicolores del Keuper (Fig. 47).

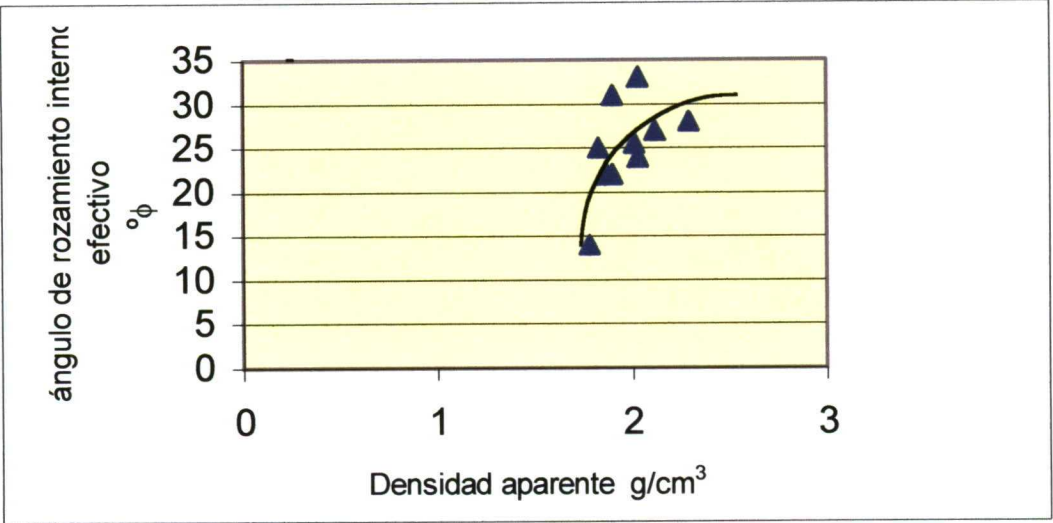


Fig. 47. Relación  $\rho_a - \phi'$  en las arcillas rojas y verdosas del Keuper

5- La Resistencia al Corte o Cohesión efectiva ( $c'$ ) de estos suelos residuales del Keuper, aumenta con la presión de confinamiento. Se ha relacionado este parámetro con la densidad seca del material  $\rho_s$  (Fig.48), verificando una relación lineal entre ambos parámetros:

$$c' = 1,64 \rho_s - 2,37$$

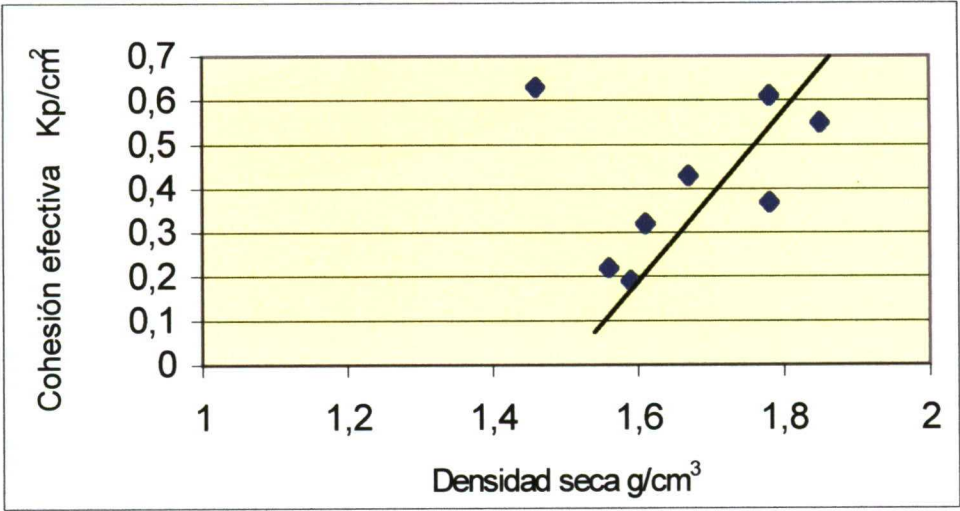


Fig.48. Correlación entre la densidad seca y la cohesión efectiva en los suelos residuales del Keuper.

#### 6.1.4- Dolomías del Rethiense (Triásico superior- Jurásico inferior)

En este grupo se incluyen los materiales del tránsito entre el Triásico (Keuper) y Jurásico (Lías). Según dataciones (I.T.G.E., 1992), la edad correcta sería Rethiense-Hettangiense.

Los afloramientos de Rethiense son muy abundantes en la Serra, constituyendo generalmente la base de los fuertes relieves que originan las rocas del Lías. Los afloramientos suelen aparecer cubiertos por sedimentos recientes de tipo coluvial. El máximo desarrollo superficial lo alcanza entre las localidades de Deià y Esporles.

##### Descripción litológica

Al tratarse de un tránsito gradual entre el Triásico y el Jurásico, en la base de la secuencia del Rethiense (de más de 300 m de potencia) encontramos sedimentos muy similares a los del Keuper: margas y alternancia de margas con carnioles, areniscas yesíferas y limolitas; mientras que hacia el techo de la secuencia los materiales van siendo cada vez más carbonatados. Así las facies características del Rethiense son dolomías cristalinas, de aspecto terroso (Fig.49), dolomicritas y microdolomías brechoides, todas ellas con niveles intercalados, más o menos abundantes, de margas versicolores. Hacia techo de la secuencia aparecen brechas dolomíticas monogénicas amarillentas. El conjunto de estos materiales se depositó en una plataforma somera de ambiente litoral de llanura de mareas.



Fig.49. Litologías características del Rethiense: dolomías de aspecto terroso. Sondeo Son March. I.T.G.E., 1999



## Propiedades geomecánicas

Se han podido recopilar datos geotécnicos del Rethiense de la Serra de Tramuntana a partir de dos sondeos realizados en el área de Pollença (I.T.G.E., 1997- 1999), y de 5 sondeos en la zona de Albercutx del Puerto de Pollença (H<sub>2</sub>O, 1997-1998).

Los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a las muestras del Rethiense se recogen en el siguiente cuadro.

Sondeo-Muestra	Prof (m)	Litología	$\sigma_c$ (Kp/cm <sup>2</sup> )	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
Giga1-M1	1,6-1,8	Brecha dolomítica	261,23	2,66
Giga1-M2	2,65-2,85	Brecha dolomítica con una matriz arcillosa	268,74	2,63
Giga1-M4	6,10-6,27	Brecha con matriz arcillosa	122,16	2,51
Giga1-M5	7,5-8	Brecha dolomítica muy compacta (ausencia de fracturas)	391	2,65
Giga2-M6	6,25-6,50	Brecha dolomítica, con fracturas rellenas de arcilla	392,41	2,64
Sport1-M2	7,25	Dolomía brechoide muy alterada	330	2,63
Sport3-M3	4,20	Dolomía brechoide	280	2,58
Sport3- M7	4,60	Dolomía brechoide oquerosa, alterada	220,1	2,54
Sport3-M8	4,9	Dolomía brechoide alterada	195	2,50
Son Marc-M6	60	Dolomías terrosas	438,3	2,6

Cuadro 12. Valores de resistencia a compresión simple y densidad aparente de diferentes litologías del Rethiense. Fuente de datos: ITGE, H<sub>2</sub>O S.L.

Tras el análisis de los datos obtenidos se puede concluir lo siguiente:

1. Las dolomías de aspecto terroso del Rethiense presentan unos valores medios de Resistencia a Compresión Simple de 160 Kp/cm<sup>2</sup> (16 MPa). Este valor decrece con el grado de karstificación de la roca, hasta valores algo inferiores a 100 Kp/cm<sup>2</sup> (10 MPa). Según la clasificación de HOECK & BRAY (1977), estos materiales presentan resistencia bajas a Compresión Uniaxial.
2. Las facies de brechas dolomíticas del techo del Rethiense presentan valores medios de Resistencia a Compresión Simple en torno a los 305 Kp/cm<sup>2</sup> (30,5 MPa). Este valor decrece con el grado de alteración de la roca, cuyos planos de discontinuidad suelen aparecer rellenos de arcillas. Según la clasificación de HOECK & BRAY (1977), estos materiales presentan resistencias medias a Compresión Uniaxial.

3. Existe una clara relación entre la densidad aparente del material y el valor de Resistencia a Compresión Simple (Fig.50).

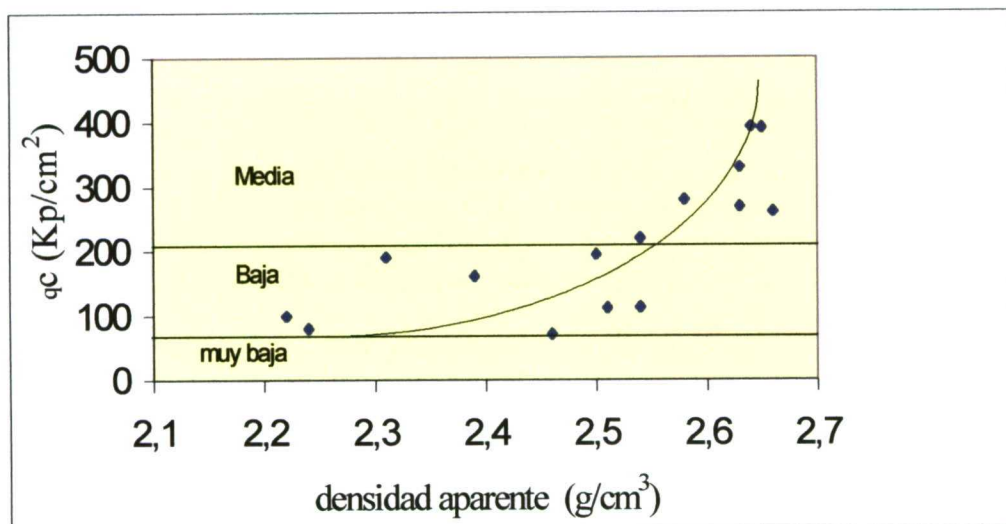


Fig.50. Relación entre la Resistencia a Compresión Simple y la densidad aparente en los materiales del Rethiense. Clasificación de HOEK & BRAY (1977).

### 6.1.5. - Rocas carbonatadas (calizas, dolomías y brechas) del Jurásico inferior o Lías

Constituyen las rocas más representativas de la Serra de Tramuntana: calizas carniolares, dolomías y calizas brechoides y calizas masivas, bastante karstificadas, todas ellas facies de una extensa plataforma carbonatada. La potencia de los materiales liásicos puede ser superior a los 300 m.

#### Descripción litológica

El I.T.G.E. (1991), establece una secuencia tipo de los materiales carbonatados liásicos en la Unidad George Sand –Sa Calobra (franja litoral). De muro a techo sería la siguiente:

- Dolomías oscuras granudas de grano fino bien estratificada en la base, que se brechifican enseguida, conservando al principio los restos de la estratificación.
- Brechas oligomíticas con elementos de dolomías, calizas dolomíticas y calizas micríticas del Lías inferior; en algunas zonas se presentan en forma de calizas dolomíticas y calizas micríticas sin brechificar. Culminan con micritas más o menos zoogenas, brechificadas o no.



- Calizas arenosas amarillentas con fauna y pasadas de microconglomerados con cemento y matriz calcárea. Bien estratificadas.
- Brechas oligomíticas con elementos que alcanzan como mínimo las facies titónicas. ¿ Relleno de un karst muy desarrollado?.

En la Unidad de Alfàbia - Es Barraca (I.T.G.E., 1991), la serie esquemática del Lías es la siguiente (de muro a techo).

- Brechas calcodolomíticas y calizas y dolomías brechoides con estratificación difusa. Las brechas pueden ser mono y poligénicas, los clastos son angulosos, siendo su tamaño medio de 2-3 cm (Fig.51). Hacia techo pasan a dolomías y calizas dolomíticas cristalinas brechoides, con diversos grados de dolomitización afectando a los clastos. Todo el tramo es azoico.
- Calizas y dolomías tableadas. Espesor entre 100 y 250 m. La parte inferior de este tramo son calizas mudstones y calizas dolomíticas, en ocasiones brechoides. La parte superior del tramo son calizas micríticas bien estratificadas con alguna intercalación ocasional de margas marrones.
- El tramo superior tiene un espesor de 30-50 m. Es una sucesión de calizas, calizas arenosas y areniscas. El porcentaje de clastos de cuarzo es del 15-40%.



Figura 51. Brechas dolomíticas del Lías. Sondeo Son March. ITGE, 1999

## Propiedades geomecánicas

En el cuadro 13, se recogen todos los parámetros geomecánicos y datos de laboratorio recopilados para los materiales liásicos. La descripción litológica ha intentado ser lo más fiable posible, con la finalidad de poder caracterizar geomecánicamente los diferentes tramos del Lías.

Muestra – sondeo	Prof. Muestra (m)	Litología	%CO <sub>3</sub> Ca	Wo%	$\gamma_d$ g / cm <sup>3</sup>	$\sigma_c$ Kp/cm <sup>2</sup>
1- S7 SGOP	104,7	Dolomías grises oscuras de grano fino	93	0	2,81	850,1
2- S7 SGOP	109,7		68	0,42	2,77	753,3
3- S7 SGOP	112		68	0	2,71	512,2
4- S7 SGOP	120		26	0	2,79	326,4
5- S7 SGOP	133		39	0	2,69	469,7
1- S4 SGOP	125,1	Brecha poligénica gris	98	0	2,69	715,9
2- S4 SGOP	131,5		75	0	2,76	719,6
3- S4 SGOP	133,45		68	0	2,73	326,3
4- S4 SGOP	142		79	0	2,75	650,3
5- S4 SGOP	150		75	0	2,77	733,1
6- S4 SGOP	154		86	0	2,76	447,1
7- S4 SGOP	189		94	0	2,78	324,6
5- S10 SGOP	163,0		98	0,21	2,76	334,3
6- S10 SGOP	174,0		96	0,23	2,77	345,5
7- S10 SGOP	185,0		98	0,28	2,78	585,8
8- S10 SGOP	198,0	Dolomías brechoídes	96	0,22	2,77	584,5
9- S10 SGOP	211,0		92	0	2,79	453,0
10- S10 SGOP	253,0		76	0	2,80	630,0
11- S10 SGOP	278,0		98	0	2,78	323,7
12- S10 SGOP	307,8		68	0	2,74	639,4
13- S10 SGOP	368,5		98	0	2,83	776,3
14- S10 SGOP	370,1		100	0	2,74	640,0
1- S14 SGOP	238		100	0	2,77	553,5
2- S14 SGOP	264		100	0	2,76	754,4
3- S14 SGOP	323		98	0,20	2,66	417,2
4- S14 SGOP	337	Caliza brechoide oquerosa muy alterada	100	0	2,78	384,9
5- S14 SGOP	340,25					
1-S1 ALBERCUTX	2,58				2,63	429,38
2-S1 ALBERCUTX	7,25				2,63	338,72
3-S2 ALBERCUTX	4,20				2,58	280,36
7-S3 ALBERCUTX	4,60	Caliza nodulosa			2,54	222,27
8-S3 ALBERCUTX	4,9				2,50	351,60
5-S2 ALBERCUTX	7,30				2,61	399,07
6-S2 ALBERCUTX	8,8				2,62	285,92

Cuadro. 13. Recopilación de datos de laboratorio en muestras del Jurásico inferior (Lías)



Del análisis de los datos anteriores se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1. Las dolomías grises de grano fino que constituyen los niveles inferiores del Lías muestran cargas de rotura a Compresión Simple entre 32,6 MPa y 85 MPa, siendo el valor medio de 58,2 MPa. La densidad seca media de estas dolomías es aproximadamente de  $2,75 \text{ g/cm}^3$ , y el Módulo de Elasticidad de  $1,9 \cdot 10^4 \text{ MPa}$ .
2. Existe una relación lineal entre el contenido en  $\text{CO}_3\text{Ca}$  y la Resistencia a Compresión Simple de estos materiales (Fig. 52). A mayor porcentaje de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  en la muestra mayor es la resistencia del material. Este hecho queda constatado por KAVVADAS (1998), en numerosas muestras de carbonatos analizadas en el sur de Grecia.
3. El R.Q.D. de los testigos recuperados de estos materiales varía entre el 50%-85%, según descripciones realizadas por el SGOP (1994).
4. Las brechas poligénicas calcodolomíticas presentan cantos generalmente angulosos, con un tamaño medio de 2-3 cm y máximo de 10-20 cm. La fábrica de estas brechas puede ser clast – supported o matrix- supported (I.T.G.E., 1991). La Resistencia a Compresión Simple de estos materiales oscila entre 32 MPa – 72 MPa, siendo el valor medio de 52 MPa. El amplio intervalo de resistencias puede deberse a la litología de los clastos, o más bien al comportamiento anisotrópico de estas brechas por la naturaleza y proporción del cemento. La densidad media de estos materiales es de  $2,75 \text{ g/cm}^3$ , aunque como se observa en el Cuadro 13, las muestras ensayadas se encontraban a más de 100 m de profundidad. El Módulo de Elasticidad calculado para estos materiales es de  $2,6 \times 10^4 \text{ MPa}$ . No existe una relación clara en estas brechas del Lías, entre el contenido en  $\text{CO}_3\text{Ca}$  y la resistencia a compresión uniaxial.

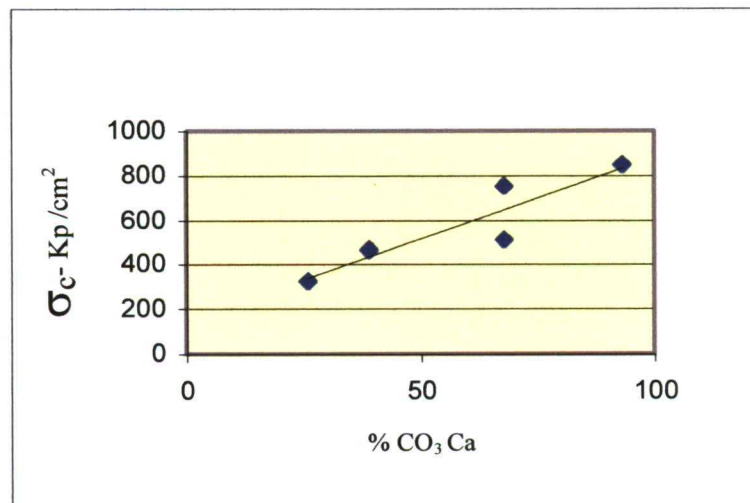


Fig. 52. Relación entre el contenido en  $\text{CO}_3\text{Ca}$  y la resistencia a compresión uniaxial en las dolomías del Lías inferior.

5. Las dolomías cristalinas brechoides, que generalmente se superponen a las brechas descritas anteriormente, presentan al microscopio diversos grados de dolomitización. Estas brechas presentan una carga de rotura a Compresión Simple entre 32 MPa- 37 MPa, con un valor medio de 55 MPa. La densidad de estas dolomías brechoides presenta un valor medio de 2,75 gr/cm<sup>3</sup>. El Módulo de Young para estos materiales puede establecerse en  $2,7 \times 10^4$  MPa.
6. Las calizas brechoides ensayadas en testigos de roca obtenidos en los sondeos de Albercutx, presentan valores de R.Q.D. que no supera el 10% (Fig. 53). Las fracturas aparecen rellenas por limos y arcillas y se observan huecos por disolución. La Resistencia a Compresión Simple de estos materiales es menor que en el resto de los materiales liásicos anteriores, oscilando entre 22 y 42 MPa, con un valor medio de 32 MPa. La porosidad secundaria condiciona una menor densidad de estos materiales con un valor medio de 2,5 g/cm<sup>3</sup>. La rotura a Compresión Simple se produce a favor de las fracturas del testigo de roca. Los tramos de margocalizas que pueden intercalarse en estas calizas brechoides presentan valores aún menores de Resistencia a Compresión Simple, en torno a los 25 MPa.



Fig. 53. Calizas brechoides muy alteradas del Lías. Sondeo n° 3 Albercutx

- 7 Según la clasificación de U.S DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (1977), todos los materiales ensayados del Jurásico inferior se pueden considerar Rocas Duras, con resistencias medias a compresión uniaxial (HOEK & BRAY, 1977).
- 8 Existe una clara relación entre la Densidad seca y la resistencia a compresión simple de los materiales carbonatados del Lías, tal y como se observa en la Fig.54.



- 9 Los materiales dolomíticos presentan mayor Resistencia a Compresión Uniaxial que el resto de las rocas liásicas. La dolomitización incrementa la resistencia.

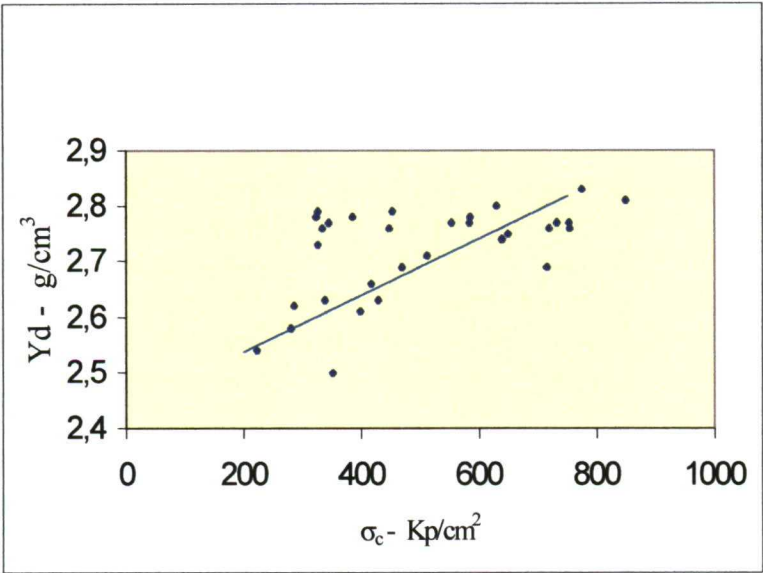


Fig. 54. Relación entre la Densidad seca y la resistencia a Compresión simple en los materiales carbonatados del Lías.

El I.T.G.E (1996), realizó un sondeo de investigación en el entorno de la Fuente de S’Almadrava (Pollença). Se realizaron ensayos de laboratorio en los testigos extraídos del Lías superior e inferior, realizando además un ensayo de Corte directo en una de las muestras del Lías inferior afectada por un plano neto de discontinuidad y sellada con arcillas de color ocre. Los resultados se resumen en los siguientes cuadros:

Muestra	Prof.(m)	Litología	P.e.r.	P.e.a.	% Absor.	% Poros.	% CO <sub>3</sub> Ca
8 a, b	496,8	Caliza micrítica (Lías sup.)	2,71	2,67	0,59	1,56	89,70
12	95	Brecha calcárea (Lías inf.)	2,71	2,69	0,23	0,61	92,4

Cuadro 14. Resultados de laboratorio de los ensayos de identificación realizados en las muestras del Lías obtenidas en el sondeo S’Almadrava 96 (I.T.G.E., 1996).

Muestra	Densidad seca g/cm <sup>3</sup>	Compresión Simple		Corte Directo			
		$\sigma_c$ (Kp/cm <sup>2</sup> )	Módulo de Young (MPa)	Cohesión (Kp/cm <sup>2</sup> )		Ángulo de fricción $\phi$	
				Pico	Residual	Pico	Residual
8 a	2,69	1185	13529	3	1,2	60°	49°
8 b	2,70	874	17448				
12	2,70	1343	30749				

Cuadro 15. Resultados de laboratorio de los ensayos de mecánica de rocas realizados en las muestras del Lías obtenidas en el sondeo S'Almadrava 96 (I.T.G.E., 1996).

Se obtienen unos valores de resistencia al corte medios para la cohesión y muy elevados para la fricción. En la Fig. 55, se representan las curvas tensión tangencial-deformación en el ensayo de Corte directo, observando una rápida caída de la resistencia tras alcanzar los valores de pico y un amplio desarrollo de la curva de resistencia residual.

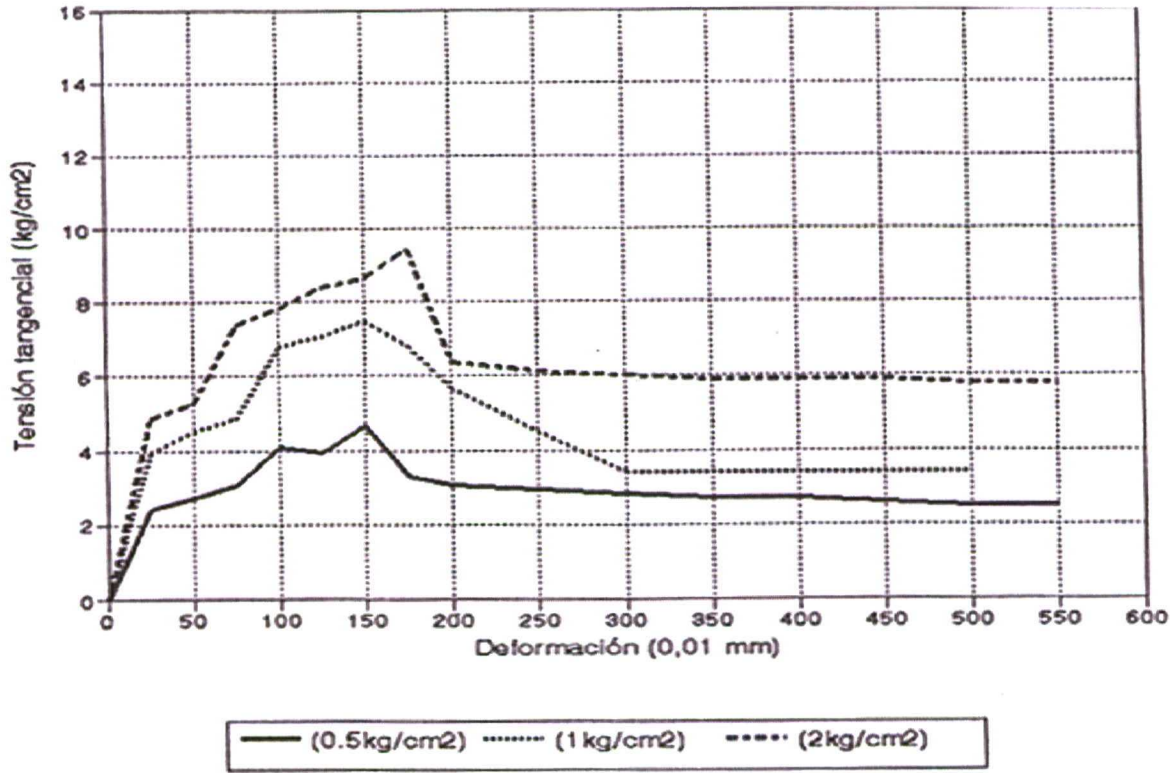


Fig. 55. Curvas tensión tangencial - deformación en el ensayo de Corte directo realizado a un testigo de roca del Lías inferior. Sondeo Almadrava 96, I.T.G.E.(1996).



### **6.1.6 – Margas y margocalizas del Jurásico medio – superior, Cretácico inferior**

Los materiales del Jurásico medio (Dogger) y superior (Malm), así como los del Cretácico inferior afloran preferentemente en las estructuras sinclinales de la Serra (sinclinal de Cúber, sinclinal de Teix y sinclinales de Orient). Por sus características litológicas se han englobado, y constituyen en general un tramo blando que da lugar a valles y zonas deprimidas.

#### **Descripción litológica**

El I.T.G.E.(1991), realizó varias secciones de estos materiales en la Serra, diferenciando de muro a techo los siguientes tramos:

- Tramo de 60-90 metros de espesor constituido por una ritmita de margas gris oscuro y calizas mudstones grises muy bien estratificadas. Es frecuente la presencia de nódulos de sílex. Petrográficamente las calizas son biomicritas con microfilamentos y matriz fundamentalmente peltoide, recrystalizada irregularmente, y ocasionalmente es microdolomítica-silícea. Son facies de plataforma externa abierta a talud.
- Tramo de 10-15 metros de espesor constituido por calizas nodulosas y “falsas brechas” de colores rojizos (facies “anmonítico-rosso”). Entre los nódulos y estratos aparece una matriz de marga o limolita calcárea de color rojo o verde. Al microscopio son biomicritas más o menos recrystalizadas con radiolarios.
- Tramo de 50-65 metros de espesor de calizas mudstone tableadas, en bancos de 30 cm, con interestratos margosos. Presentan nódulos de sílex. En la parte central del tramo es frecuente que predominen los niveles margosos. Este tramo, no siempre, termina con un nivel de 10-12 metros de falsas brechas de las facies “anmonítico-rosso” (Fig. 56).
- Tramo de hasta 60 m de potencia de una alternancia de margas grises y calizas mudstone grises o blancas, bien estratificadas en capas de 30-50 cm.
- El último tramo corresponde a las facies del Cretácico inferior, que consisten igualmente en una alternancia de calizas arcillosas grises y margas negras en capas de 20-30 cm. Petrográficamente son micritas con radiolarios, calpionelas, espículas y óxidos de hierro. Presencia de fauna de ammonites.

Todos los tramos presentan litologías similares de alternancia de calizas nodulosas, margocalizas con niveles intercalados donde predominan los sedimentos margosos.

## Propiedades geomecánicas

En el sondeo Almadrava 96, realizado por el I.T.G.E. en 1996, se atraviesan estos materiales del Jurásico medio-superior y Cretácico inferior. Se realizaron diversos ensayos de laboratorio a los testigos de roca extraídos (Fig.56), para la obtención de los diferentes parámetros de identificación y propiedades mecánicas de estos materiales. Los resultados de estos ensayos se recogen en el Cuadro 16.



Fig. 56. Facies “anmonítico rosso” del Jurásico medio-superior. Sondeo Son Marc. ITGE, 1999.

A la vista de los resultados de los ensayos de laboratorio en estos materiales, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1. Por las similitudes litológicas, las rocas del Dogger-Malm y Cretácico inferior presentan comportamientos geomecánicos similares.
2. Los valores de resistencia a compresión simple varían entre 10 y 95 MPa. Según la clasificación de HOECK & BRAY (1977), la resistencia de estos materiales es baja-media.
3. Existe una muy clara relación entre la proporción de margas y la resistencia a compresión simple. Las muestras con aspecto más margoso presentan los valores más bajos de resistencia. Esta relación se representa en la Figura 57.



4. Los valores de densidad obtenidos indican rocas sobreconsolidadas, teniendo en cuenta la profundidad de los testigos extraídos. La relación entre la densidad seca y la resistencia a compresión simple se representa en la Figura 58.
5. No existe una relación clara entre el porcentaje en carbonatos y la resistencia a compresión uniaxial.
6. Los valores de porosidad de estos materiales son muy bajos (<3 %), así como los porcentajes de absorción (<2,5 %). Las fracturas están rellenas de arcillas, lo cual contribuye a una menor permeabilidad. Según HOECK & BRAY (1977), el coeficiente de permeabilidad para este tipo de rocas se sitúa en el intervalo entre  $10^6$  -  $10^{-5}$ , rocas con un mal drenaje.
7. El grado de alterabilidad en superficie de estas rocas produce una clara disminución de la resistencia.
8. En base a los valores de resistencia a compresión simple obtenidos, el conjunto de margas y margocalizas del Jurásico medio-superior y Cretácico se puede considerar rocas blandas (DE FREITAS,1992).

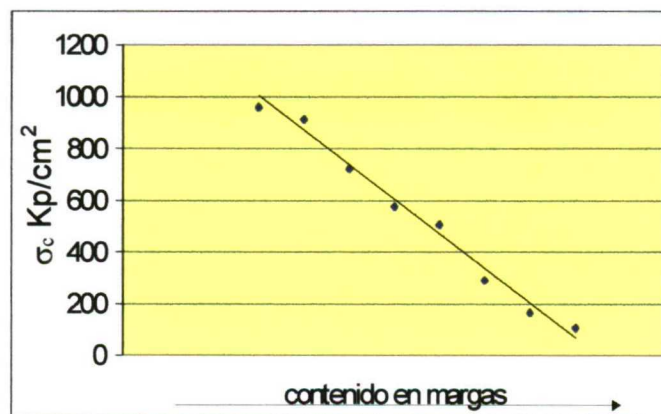


Fig. 57. Relación entre el contenido en margas de la muestra y la resistencia a compresión simple

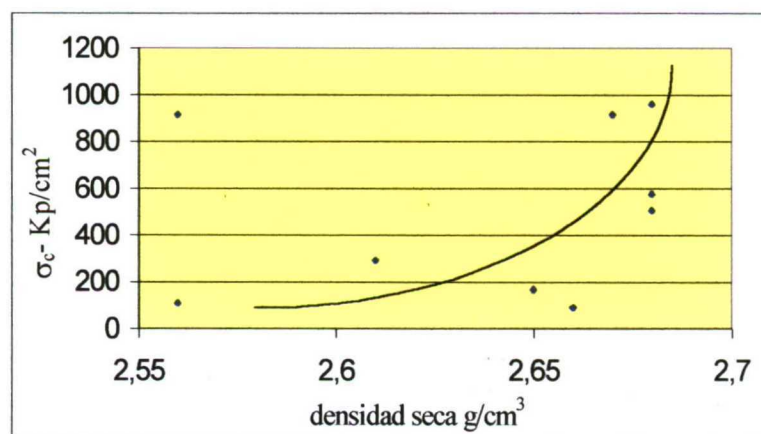


Fig. 58. Relación entre la densidad seca del material y la Resistencia a Compresión Simple.

### **6.1.7 - Materiales turbidíticos del Neógeno: Fm. Calcarenítica de Sant Elm y Fm. Turbidítica de Banyalbufar**

En el Terciario de la Serra de Tramuntana, RODRÍGUEZ PEREA (1984) diferencia dos secuencias sinorogénicas desarrolladas durante el Neógeno inferior y medio: la Formación Calcarenítica de Sant Elm y la Formación Turbidítica de Banyalbufar.

#### **Formación Calcarenítica de Sant Elm**

##### **Descripción litológica**

Esta Unidad se caracteriza por una distribución irregular a lo largo de toda la Isla. Sus afloramientos están formados predominantemente por calcarenitas más o menos bioclásticas, aún cuando los conglomerados y las brechas son también frecuentes. Representan mayoritariamente facies litorales, aunque también se encuentran presentes depósitos continentales de ambiente restringido o plataforma abierta.

El límite inferior de la Fm. Calcarenítica de Sant Elm presenta carácter erosivo sobre los materiales mesozoicos y paleógenos.

Los depósitos continentales de esta formación están representados por brechas calcáreas, con proporciones variables de una matriz limoso rojiza. Los tamaños de los cantos oscilan entre pocos centímetros y cerca de un metro. Representan facies proximales de abanico aluvial.

Los sedimentos litorales presentan diversas asociaciones de facies, básicamente conglomerados y calcarenitas, siendo estas últimas las facies más características de la formación; en general son masivas y bioturbadas. Pueden encontrarse también sedimentos correspondientes a ambientes restringidos, como calcisiltitas o facies arrecifales (Deiá), de escasa representación en la serie.

Asociados a los depósitos litorales de la Formación Calcarenítica de Sant Elm se han descrito depósitos piroclásticos en el Puig de l'Ofre y Formentor, cuya potencia varía entre 2-10 m, y se han interpretado como depósitos "ash-flows" de tipo ignimbrítico (ITGE, 1991).

##### **Propiedades geomecánicas**

Para caracterizar desde el punto de vista geomecánico los materiales correspondientes a esta formación, se han ensayado los testigos de roca de los sondeos llevados a cabo por el I.T.G.E. en la Vall de Son Marc y Fuente de la Almadrava (Pollença), durante los años 1996-1999. Los ensayos de identificación y resistencia se han llevado a cabo en el Laboratorio de Geotecnia del I.T.G.E..



Los testigos ensayados de la Vall de Son Marc corresponden a facies proximales de abanico submarino donde predominan los conglomerados y brechas con cantos subredondeados poligénicos y heterométricos, en una matriz arenosa muy recristalizada, mientras que la misma Formación en las inmediaciones de la Fuente de la Almadrava, presenta facies más distales, con mayor presencia de niveles de sedimentos margosos. La recuperación de testigos de esta Formación durante la perforación fue muy alta ( $\pm 98\%$ ) en todos los sondeos, con un R.Q.D. excelente, del orden del 80%. ( Fig.59).



Fig. 59. Facies conglomeráticas de la Fm. Calcarenítica de Sant Elm. Sondeo “Son Marc”. I.T.G.E. 1999.

Se dispone de valores de diferentes parámetros geotécnicos, a partir de ensayos de laboratorio realizados a testigos de roca correspondientes a esta Formación, que se recogen en el siguiente Cuadro:

Sondeo-Muestra	Prof (m)	Litología	% Absor	% Poros	% CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	γ <sub>s</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	Módulo de Young MPa	σ <sub>c</sub> (Kp/cm <sup>2</sup> )
Almadrava 96- 10	37	Conglomerados y microconglomerados en una matriz arenosa. Fuertemente cementado.	0,82	2,19	63,00	2,65	27005	861
Son Marc- 7	41	Brechas calcáreas, cantos poligénicos, heterométricos y muy angulosos. Matriz cristalina dolomitizada.			90,8	2,6		305,8
Son Marc- 8	55	Conglomerados de cantos poligénicos muy heterométricos y redondeados. Matriz cristalina			91,2	2,6		777,13

Cuadro 17. Resultados de laboratorio de diferentes parámetros geotécnicos. Fm. Calcarenítica de Sant Elm. Sondeos I.T.G.E. (1999).

En base a los resultados obtenidos, las brechas y conglomerados de la Formación calcarenítica de Sant Elm presentan valores altos de resistencia a compresión simple (la muestra nº 7 ofrece resistencias menores por romper a favor de un plano de fractura definido en la roca) correspondientes a un comportamiento de rocas duras (DE FREITAS, 1992).

Esta formación se conoce a nivel local como “la basal”, y en numerosos casos es muy difícil de diferenciar de las brechas liásicas, ya que apenas hay diferencias litológicas. Los valores de resistencia de la roca son similares en ambas formaciones y a nivel paisajístico, las morfologías son muy parecidas.

## **Formación Turbidítica de Banyalbufar**

### **Descripción litológica**

Los depósitos de la Formación Turbidítica de Banyalbufar (RODRIGUEZ PEREA, 1984), afloran en diversas unidades estructurales de la Serra de Tramuntana, predominando en el sector SO (Banyalbufar, Estellencs, Puigpunyent etc.). El límite inferior de la secuencia se produce bien en el contacto con la Formación Calcarenítica de Sant Elm, o cuando esta última no está presente, con el sustrato premioceno. En general se trata de una discordancia angular, que en varios puntos se manifiesta por una superficie erosiva con evidencias de hard-ground. El límite superior de la secuencia viene definido por planos de cabalgamiento que abortan la secuencia turbidítica.

Los depósitos de la Formación Turbidítica de Banyalbufar están mayoritariamente compuestos por margas, frecuentemente hemipelágicas, con intercalaciones de calcarenitas, que representan una sedimentación de talud submarino. En la zona de Banyalbufar, de donde toma nombre la Formación, se trata de potentes niveles (hasta algunas decenas de metros) de calcarenitas y margas, que en su base pueden tener microconglomerados, con predominio absoluto de la laminación paralela. Al contrario que su espesor, la continuidad de estas facies es limitada, ya que no alcanzan mas que varios centenares de metros.

### **Propiedades geomecánicas**

Diferentes estudios llevados a cabo por el I.T.G.E. en la Cala de Banyalbufar (FERRER et al, 1997) y Fuente de la Almadrava, han permitido caracterizar geomecánicamente los sedimentos más representativos de esta Formación. En los Cuadros 18,19,20,21, se recogen los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a estos sedimentos en el Laboratorio de Geotecnia del I.T.G.E, a partir de los testigos de roca extraídos en los sondeos 1 y 2 de la Cala de Banyalbufar (I.T.G.E., 1997) y Almadrava 96 (I.T.G.E., 1996).

Por sus diferentes propiedades y comportamiento se han diferenciado los sedimentos margosos de los niveles calcareníticos que constituyen esta Formación (Fig. 17).



Sondeo— Muestra	Profundidad (m)	Análisis por Difracción de Rayos X					Absorción y Peso Específico				Velocidad Sónica	
		Mineral Principal	Otros minerales	Contenido en arcilla	Arcilla principal	Otras arcillas	P.e.r.	P.e.a.	% Absorción	% Porosidad	Vp (m/s)	Vs (m/s)
SI-1	50,25						2,68	2,38	4,76	11,33		
SI-2	50,23-50,63						2,65	2,27	6,34	14,39		
SI-3	43,03-43,24						2,66	2,44	3,36	8,19		
SI-4	40,94-41,26	Calcita	Dolomita Cuarzo	Bajo	Micas Esmectitas		2,61	2,37	3,93	9,32		
SI-5	33,4-33,81	Calcita	Plagioclasa dolomita, Q	Bajo	Moscovita Beidellita	Caolinita	2,69	2,47	3,27	8,07	2919,52	2722,33
S2-4	34,00-34,26						2,68	2,36	5,07	11,95		
S2-6	25,47-25,78						2,70	2,60	1,45	3,76		
S2-8	12,65-12,85						2,57	2,12	8,30	17,56		

Cuadro. 18. Resultados de los ensayos de laboratorio realizados en los niveles margosos de la Formación Turbidítica de Banyalbufar : Identificación y Velocidad Sónica. Sondeos 1 y 2 en la Cala de Banyalbufar. I.T.G.E., 1997.

Sondeo-Muestra	Profundidad (m)	Resistencia a Compresión Uniaxial						Corte Directo			
		Altura Probeta (cm)	Diámetro Probeta	Densidad (g/cm³)	σ <sub>c</sub> (Kp/cm²)	σ <sub>c</sub> (MPa)	Módulo de Young (MPa)	Valores Pico		Residuales	
								c (Kp/cm²)	°φ	c (Kp/cm²)	°φ
S1-1	50,25										
S1-2	50,23-50,63										
S1-3	43,03-43,24										
S1-4	40,94-41,26										
S1-5	33,4-33,81	14,51	7,10	2,53	297,00	29,70	7183				
S1-11	15,73-15,25	12,26	7,09		517	51,7		1,57	9	1,46	8
S2-4	34,00-34,26										
S2-6	25,47-25,78							2,02	11	1,89	8
S2-8	12,65-12,85	16,12	7,08		494	49,4					

Cuadro. 19. Resumen de resultados de ensayos de laboratorio en los niveles margosos de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar : Resistencia a Compresión Simple y Corte Directo. Sondeos 1 y 2 de la Cala de Banyalbufar. I.T.G.E., 1997.

Los ensayos de identificación se han realizado a testigos de sondeo. A continuación se presentan los valores medios para cada litología.

Litología	Peso específico relativo (g/cm³)	Peso específico absoluto (g/cm³)	Densidad (g/cm³)	Absorción %	CO <sub>3</sub> Ca %	Porosidad %
Calcarenitas	2,7	2,57	2,63	1,85	89%	8,87
Margas	2,67	2,43	2,51	3,7		4,06

Cuadro 22. Valores medios de diferentes parámetros geotécnicos. Fm. Turbidítica de Banyalbufar

Los ensayos de resistencia a compresión uniaxial (UNE 22-950/90), de corte directo en rocas (ASTM-D-3080/90) y de velocidad sónica en testigos de roca han aportado los siguientes valores medios según litologías:

Litología	Resistencia a Compresión Simple $\sigma_c$ (kp/cm <sup>2</sup> )	Corte Directo				Velocidad Sónica	
		Cohesión (Kp/cm <sup>2</sup> )		Ángulo de fricción $\phi$		Vp (m/s)	Vs (m/s)
		Pico	Residual	Pico	Residual		
Calcarenitas	1000	0,9-2,50	0-2,55	10°-31°	5°-28°	3200-4800	2600-4250
Margas	430	1,5-2	1,4-1,9	9°-11°	8°	2800-2900	1900-2700

Cuadro 23. Valores medios de diferentes parámetros geotécnicos. Fm. Turbidítica de Banyalbufar

En base a los parámetros obtenidos, se pueden establecer las siguientes conclusiones de las características y comportamiento geomecánico de las diferentes litologías que constituyen la Formación Turbidítica de Banyalbufar:

a) *Calcarenitas*

- Los análisis por Difracción de Rayos X corroboran la descripción litológica de visu de estos materiales, con presencia mayoritaria de cuarzo y calcita y otros minerales tales como: dolomita, feldespatos y hematites. El contenido medio en carbonatos es de un 89%. Se trata de una roca consolidada, muy cementada y con valores de porosidad bajos (CUSTODIO Y LLAMAS, 1983) de hasta un 9%.
- La resistencia de la roca a compresión simple presenta valores altos (HOECK & BRAY, 1977), de hasta 140 MPa. Tomando como partida los valores de  $\sigma_c$ , las calcarenitas se clasifican como rocas moderadamente duras a duras. La rotura a compresión simple se produce de forma explosiva, con una brusca caída de la resistencia ( Fig.60).



Sondeo-Muestra	Profundidad (m)	Análisis por Difracción de rayos X					Absorción y Peso Específico				Velocidad Sónica	
		Mineral Principal	Otros Minerales	Contenido En arcilla	Arcilla principal		P.e.r	P.e.a.	% Absorción	% Porosidad	Vp (m/s)	Vs (m/s)
S1- 6	29,32-29,59						2,70	2,65	0,60	1,59		
S1- 7	26,85-27-14						2,73	2,65	1,00	2,66		
S1- 8	27,52-27,96						2,71	2,59	1,68	4,35	4776,27	4252,23
S1- 10	19,57-19,86	Cuarzo Calcita	Dolomita Feldespatos Hematites	Medio/alto	Vermiculita Mica		2,67	2,61	0,83	2,16		
S1- 11	15,73-16,25						2,66	2,43	3,52	8,57		
S1- 14	5,20-5,47										3230,54	2612,59
S2- 2	42,90-43,00						2,73	2,56	2,41	6,18		
S2- 3	40,15-40,35						2,70	2,62	1,15	3,01		
S2- 5	31,91-32,11											
S2- 7	20,60-20,82						2,65	2,32	5,30	12,30		
Almadrava 96- 9	6,3						2,69	2,62	1,00	2,62		

Cuadro 20. Resultados de los ensayos de laboratorio realizados en los niveles calcareníticos de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar : identificación y velocidad Sónica. Sondeos 1 y 2 de la Cala de Banyalbufar. I.T.G.E. 1998, y sondeo Almadrava 96, I.T.G.E., 1996.

Sondeo-Muestra	Profundidad (m)	Resistencia a Compresión Uniaxial						Corte Directo			
		Altura Probeta	Diámetro Probeta	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	σ <sub>c</sub> (Kp/cm <sup>2</sup> )	σ <sub>c</sub> (MPa)	Módulo Elástico (MPa)	Valores Pico c °φ	Valores Residuales c °φ		
S1-6	29,32-29,59	15,60	7,10		1435	143,5					
S1-7	26,85-27,14	16,21	7,10		820	82,0					
S1-8	27,52-27,96	15,45	7,10	2,66	1386	138,6	15818				
S1-9	21,64-21,89.	15,02	7,10	2,50	1081,7	108,17	8498				
S1-10	19,57-19,86							2,51	10	2,54	5
S1-14	5,20-5,47	10,79	8,27	2,60	401,40	40,14	59056				
S2-2	42,90-43,00	16,31	7,08		770	77,0					
S2-3	40,15-40,35							0,86	31	0	28
S2-5	31,91-32,11	14,92	7,08		379	37,9					
S2-7	20,60-20,82										
Almadrava 96-9	6,3	18,12	7,69	2,62	543	54,3	28021				

Cuadro.21. Resumen de resultados de ensayos de laboratorio en los niveles calcareníticos de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar: Sondeos 1 y 2 de la cala de Banyalbufar, I.T.G.E. 1998; sondeo Almadrava 96, I.T.G.E. 1996.

3. Estos materiales aparecen generalmente afectados por dos familias principales de discontinuidades, por lo que los valores de resistencia al corte obtenidos corresponden a estos planos de debilidad de la roca, que generalmente aparecen recristalizados por calcita. En las calcarenitas, los valores de resistencia al corte de pico y residuales son bajos para la cohesión y la fricción, excepto en algunas muestras con valores de cohesión de  $2,5 \text{ Kp/cm}^2$  y ángulos de fricción de hasta  $31^\circ$ . En la Figura 61, se representa la curva tensión tangencial- deformación del ensayo de corte directo en un testigo de estos materiales. Tras la rotura, la resistencia cae progresivamente hasta estabilizarse en los valores residuales.

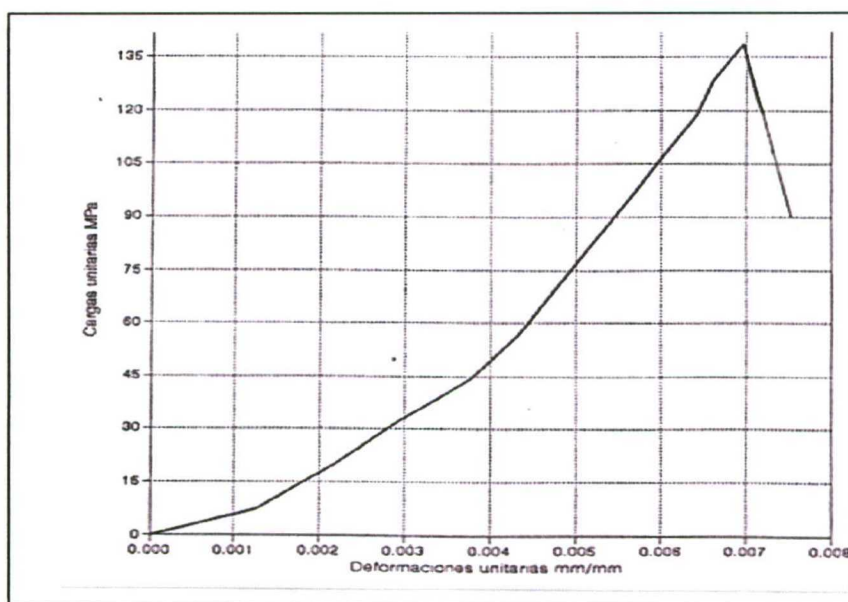


Fig. 60. Curva tensión- deformación. Ensayo de compresión uniaxial en un testigo de calcarenitas de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar.

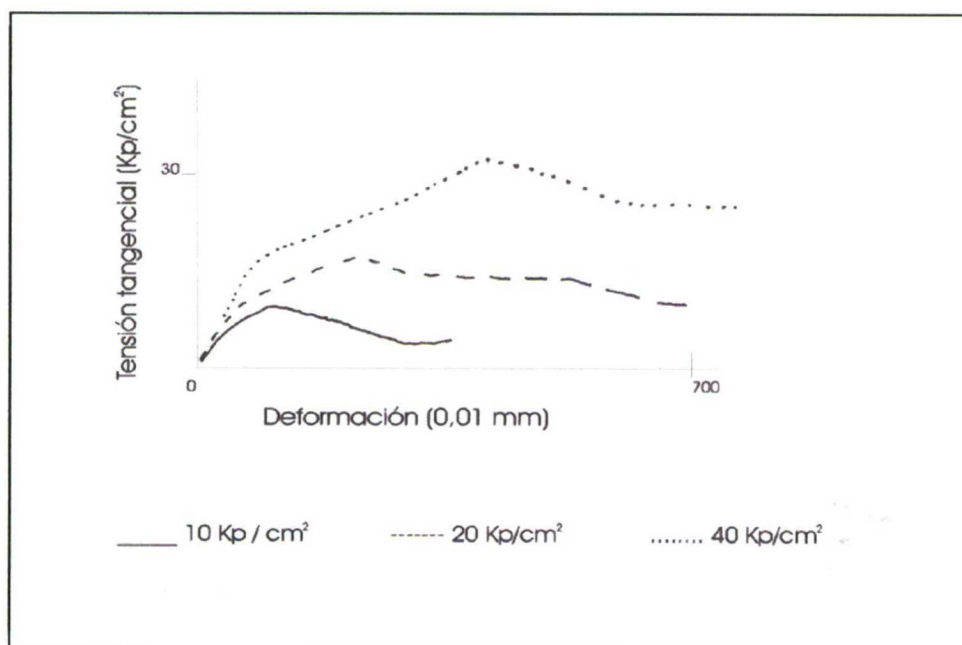


Fig. 61. Curva tensión tangencial- deformación. Ensayo de corte directo en un testigo de calcarenitas de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar



### b) Margas

1. Los análisis por Difracción de Rayos X determinan como mineral principal de estas rocas blandas la calcita y en menor proporción dolomita, cuarzo y plagioclasa. El contenido medio en carbonatos de estas margas es del 56%. Presentan un contenido bajo en minerales del grupo de las arcillas, siendo el mineral más abundante la esmectita y en menor cuantía la illita y kaolinita.
2. Ensayos de laboratorio en testigo de roca, muestran que estos materiales en estado inalterado son muy duros (requieren varios golpes de martillo para fracturarlas) con propiedades geomecánicas típicas de rocas como consecuencia de la sobreconsolidación,. Los valores de resistencia a compresión simple oscilan entre 20-50 MPa, valores de resistencia medios para rocas según la clasificación de HOECK & BRAY, 1977. Sin embargo, estos mismos materiales expuestos en superficie se presentan muy alterados con propiedades de rocas blandas e incluso suelos (Fig. 62).



a



b

Fig. 62 a) Aspecto de los testigos de sondeo de las margas inalteradas de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar. Sondeo 1, cala de Banyalbufar. I.T.G.E., 1997. b) Aspecto de los materiales margosos de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar en superficie.

3. Se han realizado ensayos de alterabilidad para conocer el grado de meteorización de estos materiales mediante el método descrito por WOOD (1974), confirmando el elevado grado de alterabilidad de las margas. El índice Ij varía entre 1 y 2. Según LUTTON (1977), serían rocas de muy baja durabilidad que se desintegran completamente en el plazo de 12 horas sometidas a ciclos de humedad-sequedad.

MATEOS y TSIGE (1998), establecen que el elevado grado de alterabilidad de estos materiales es el resultado de procesos de meteorización física: sheeting y slacking.

4. Los valores de resistencia al corte de estos materiales indican valores aceptables para la cohesión ( $1,5\text{--}2\text{ Kp/cm}^2$ ) y bajos para la fricción ( $8^\circ\text{--}9^\circ$ ). En la Figura 63 se representan las curvas tensión tangencial- deformación de uno de los ensayos de corte directo realizados a los sedimentos margosos. Se observa que, una vez alcanzada la resistencia al corte de pico, ésta se mantiene coincidiendo prácticamente con los valores residuales.

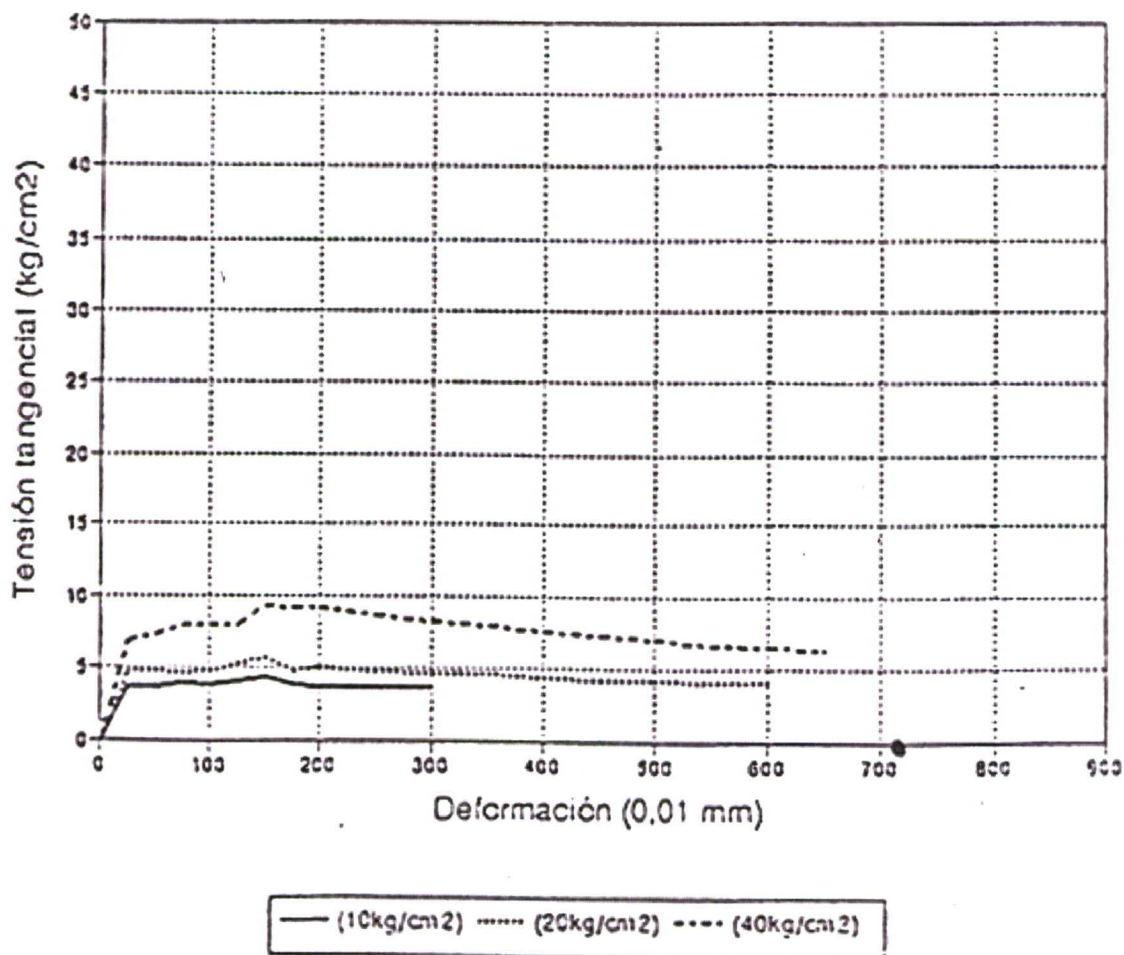


Fig. 63. Curvas tensión tangencial-deformación. Ensayo de corte directo en las margas de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar.



### **6.1.8. - Sedimentos recientes del Cuaternario**

Dentro de este apartado se han incluido todos los sedimentos recientes de edad cuaternaria, que incluye sedimentos consolidados del Pleistoceno y sedimentos no consolidados muy recientes del Holoceno. Los materiales cuaternarios de este margen de la Serra constituyen básicamente sedimentos de tipo coluvial (conos de deyección y derrubios de laderas) y depósitos aluviales de tipo torrencial. Ambas litologías son similares: conglomerados de cantos heterométricos de rocas carbonatadas en una matriz limo-arcillosa. Se han analizado también los suelos de alteración recientes que recubren las zonas de baja pendiente de la Serra y los depósitos de arcillas de descalcificación o “terra rosa” que cubren las depresiones kársticas.

#### **Depósitos coluviales consolidados del Pleistoceno:**

Se han englobado en esta unidad los depósitos coluviales antiguos que aparecen adosados a algunas laderas de la Serra, desconectados del relieve actual. Se trata de rocas brechoides, constituidas por bolos y bloques de calizas y dolomías con fuerte cementación por carbonatos. El espesor de estos sedimentos es variable, pudiendo superar los 20 m. Corresponden en general a las zonas apicales de mantos coluviales antiguos que han sido respetados por la erosión posterior por la fuerte cementación que presentan.

No se dispone de datos de laboratorio de estos materiales, pero el reconocimiento y los ensayos realizados en campo con el martillo de Schmidt, dan un comportamiento geomecánico de estos materiales similar a las brechas calcáreas del Lías, con valores de resistencia a compresión simple entre 450- 525 Kp/cm<sup>2</sup> (45-52 MPa).

Aunque en el Pleistoceno de la Serra de Tramuntana aparecen algunos restos de eolianitas y playas (Port de Sóller), se ha desestimado su análisis por su baja representatividad.

#### **Sedimentos actuales del Holoceno**

##### **Descripción litológica**

Se han diferenciado los siguientes grupos litológicos en base a su génesis:

##### *a) Depósitos coluviales*

Conos de deyección de torrentes y derrubios de ladera. Estos materiales alcanzan un importante desarrollo en las laderas de la Serra de Tramuntana (Fig. 64), con potencias que en ocasiones pueden superar los 100 m. En general están constituidos por gravas y bloques (a veces de enormes dimensiones) generalmente de elementos calizos y dolomíticos, envueltos en una proporción variable de matriz limo-arcillosa con intercalación de niveles cementados (costras calcáreas). La granulometría y naturaleza de cada depósito está muy controlada por los factores locales de pendiente y litología.

### *b) Depósitos aluviales*

Corresponden a depósitos de tipo torrencial que suelen tapizar el fondo de algunos valles. En general se trata de gravas poligénicas con matriz arcillo arenosa, a veces con niveles de costras y gravas dispersas (Fig. 65).

### *c) Depósitos eluviales*

En este grupo se engloban los suelos de alteración y las arcillas de descalcificación o “terra rosa” que suelen tapizar algunas depresiones. En general se trata de arcillas de color pardo- rojizo y arcillas limo arenosas, con algunos niveles de costras carbonatadas.

## **Propiedades geomecánicas**

Se han realizado diversos ensayos de laboratorio en estos sedimentos del Cuaternario. A continuación se comentan los resultados en cada uno de los grupos clasificados anteriormente.

### *a)- Depósitos coluviales.*

Se han tomado muestras alteradas de diferentes derrubios de ladera en varios puntos de la Serra. Los resultados de los valores medios de los ensayos granulométricos realizados son:

% que pasa por el tamiz nº4.....	30
% que pasa por el tamiz nº10.....	22
% que pasa por el tamiz nº 40.....	10
% que pasa por el tamiz nº 100.....	8
% que pasa por el tamiz nº 200.....	7

Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, estos sedimentos se clasifican como: GM-GC, gravas limo-arcillosas. Las gravas son heterométricas y en general poco redondeadas, y la matriz limo-arcillosa de colores marrón rojizos presenta un bajo contenido en materia orgánica. La permeabilidad del material es de  $2 \cdot 10^{-1}$  cm/s.

En función de las propiedades típicas de estos suelos según NAVFAC (1971) se puede estimar un valor de la resistencia a compresión simple para estos materiales de 75- 80 Kp/cm<sup>2</sup> y un valor del ángulo de fricción de 31-35°.

Respecto a la plasticidad de la matriz limo- arcillosa se han obtenido los siguientes valores medios:

- Límite Líquido..... 27,7%
- Límite plástico..... 47,2%
- Índice de Plasticidad..... 19,5%





Fig. 64. Depósitos coluviales cuaternarios. Camino de Son Marroig a Sa Foradada (Deià).

Los valores de plasticidad obtenidos corresponden a arcillas y limos inorgánicos de baja plasticidad, ML-CL

#### *b) Depósitos aluviales*

Se han recogido muestras alteradas de sedimentos de origen torrencial en diversas cuencas de la Serra (Torrent Major de Deià, Torrent de Fornalutx, Torrent de Estellencs etc.).

Los resultados son los siguientes:

% pasa por el tamiz nº4.....	35
% pasa por el tamiz nº10.....	18
% pasa por el tamiz nº 40.....	11
% pasa por el tamiz nº100.....	16
% pasa por el tamiz nº 200.....	20

Según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos, se trata de gravas con finos (limo-arcillosas) GM-GC. Las gravas son poligénicas con claro predominio de calizas y dolomías, muy heterométricas, y suelen estar bastante redondeadas. La matriz limo arcillosa suele ser de color pardo. Puede haber una fracción importante de tamaño arena y presentan un bajo contenido en materia orgánica.

Los valores medios obtenidos de plasticidad de la matriz de estos depósitos aluviales son:

- Límite Líquido..... 40,7%
- Límite Plástico.....21,2%
- Índice de Plasticidad.....19,5%

Según la clasificación de Casagrande, corresponden a arcillas CL de baja plasticidad



Fig. 65. Depósitos aluviales. Torrent Major. Cala Deiá.

En base algunos ensayos de SPT realizados en estos materiales (IBERGESA, 1993), las gravas de origen torrencial dan siempre rechazo, pues son materiales de una gran compacidad.

En función de los parámetros típicos establecidos por NAVFAC (1971) para este tipo de suelos no cohesivos, se puede estimar un ángulo de fricción para estos materiales de 37-40°.

### *c) Depósitos eluviales*

Se disponen de valores de parámetros geotécnicos a partir de ensayos de laboratorio en niveles superficiales provenientes de alteración de macizos rocosos (Cuadros 24 y 25).



Todos los suelos ensayados se han formados a partir de rocas carbonatadas, en la mayoría de los casos a partir de las dolomías del Rethiense y calizas y dolomías del Lías. Se trata de los típicos suelos de montaña. En algunas zonas llanas éstos suelos pueden tener más de 7m de potencia.

Sondeo-Muestra	Prof (m)	Descripción litológica	$\partial$ apa (g/cm <sup>3</sup> )	Humedad natural %	Granulometría		Plasticidad		Compresión Simple
					>4	<200	WL%	IP%	$\sigma_c$ (Kp/cm <sup>2</sup> )
Playamar 4 <sup>a</sup>	2,1	Suelo de color marrón arcillosos con gravas de rocas calizas	1,77	10	32	68	77,9	53,4	18,2
Playamar 4b	3	Suelo de color marrón muy arcilloso, con cantos de tamaño guijarro y forma angular de rocas calcáreas	1,90	7	24	86	72,4	45,5	11,8
Artel 1 1	1,5	Arcilla marrón con fragmentos de gravas de dolomías	1,70	17	19	72	58,4	32,7	2,88
Artel 1 2	3,5	Arcilla roja con algunos fragmentos de dolomías	1,50	27,9	2	89	60,6	35,3	2,43
Artel 2 4	1,35	Arcilla de color pardo chocolate con gravas de dolomías	1,6	12,4	11	58	45,5	22,9	6,33
Artel 3 7	2,25	Arcilla marrón rojiza con cantos de gravas de dolomías	1,48	27,4	6	70,7	50,4	25,6	2,64
Artel 3 8	5,8	Arcilla pardo rojiza con cantos de dolomías	1,57	23,1	1	82	50,5	27,9	1,79
Giga 1 3	3,50	Suelo de color marrón muy arcilloso y con cantos de grava de rocas calizas	1,81	16	0	94,0	57,0	34,5	23,0
Giga2 7	2,75	Suelo de color marrón, muy arcillos, con cantos de gran tamaño y forma angular de rocas calizas	1,83	15	17	77,0	92,4	59,3	8,5

Sondeo-muestra	Clasificación del suelo	Cambio Potencial de Volumen	Corte Directo		Ensayo Lambe Presión de hinchamiento (Kp/cm <sup>2</sup> )
			Cohesión pico (Kp/cm <sup>2</sup> )	Ángulo de fricción $\phi$	
Artel 1 1	CH	No crítico	3,34	21°	0,023
Artel 3 7	CH	No crítico	2,15	19°	0,038

Cuadros 24, 25. Resultados de laboratorio de diferentes suelos analizados en la Serra de Tramuntana

A la vista de los resultados obtenidos, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1. Los suelos de la Serra de Tramuntana formados a partir de una roca madre calcárea (calizas, dolomías, brechas calcáreas etc.), son suelos básicamente arcillosos, con mayor o menor proporción de fragmentos de la roca madre de origen (Fig.67). El porcentaje en peso de la fracción arcillosa es  $> 70\%$ .
2. Según el gráfico de Casagrande (Fig. 66 ), se trata de suelos CH (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos): arcillas inorgánicas muy plásticas.

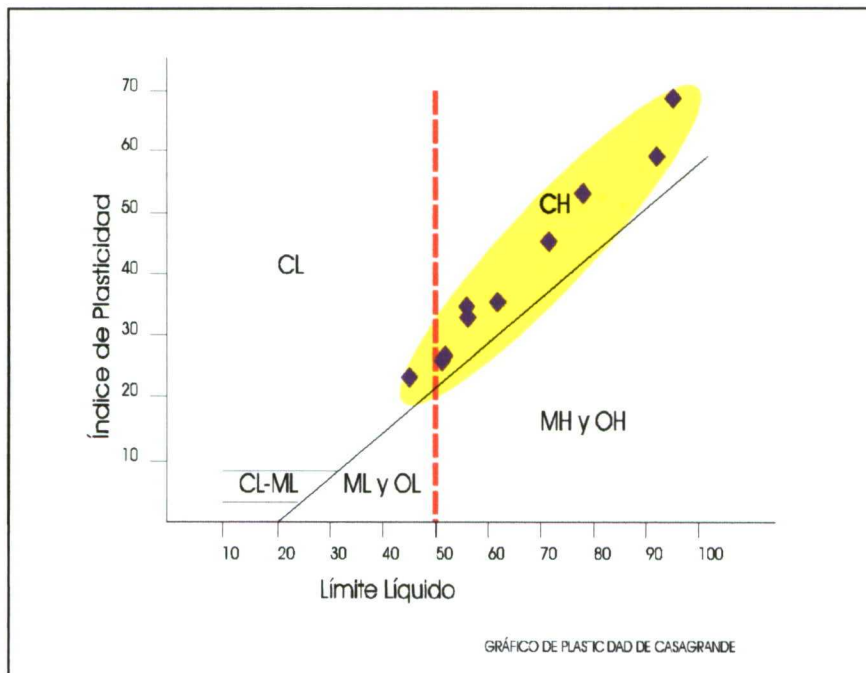


Fig. 66. Gráfico de plasticidad de Casagrande. Suelos cuaternarios



Fig. 67. Aspecto de los suelos arcillosos cuaternarios en testigos de sondeo.



3. El valor de la resistencia a compresión simple de estos suelos puede ser variable, entre 1,8- 18 Kp/cm<sup>2</sup>. Existe una clara relación lineal entre el porcentaje de fracción gruesa en la muestra y el valor de resistencia a compresión simple (Fig.68), definida por la correlación:

$$\sigma_c = 0,4656 (\% >4) + 0,303$$

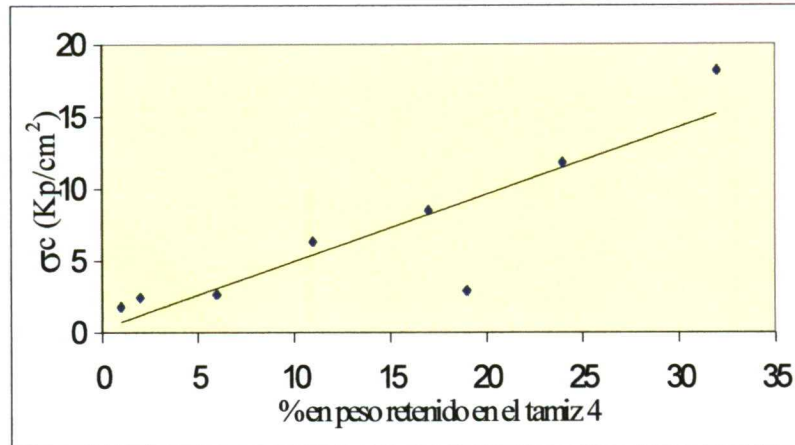


Fig. 68. Relación entre el contenido en fracción gruesa y la Resistencia a Compresión Simple. Suelos cuaternarios

4. La consistencia de estos suelos en base al valor de  $\sigma_c$  (HUNT, 1983) es de rígida a dura.
5. La resistencia a compresión simple es mayor al aumentar la densidad aparente de la muestra (Fig.69). Este último parámetro es inversamente proporcional al porcentaje de humedad, por lo tanto al aumentar el grado de saturación del suelo, disminuye su resistencia a compresión uniaxial (Fig.70).

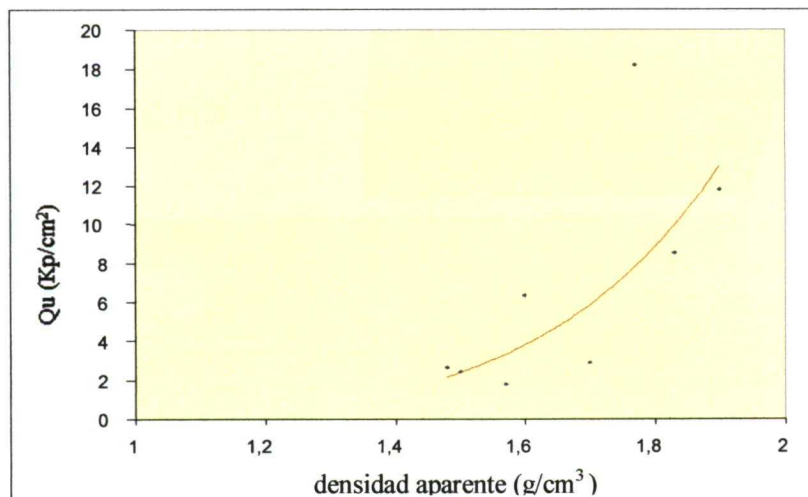


Fig. 69. Relación entre la densidad aparente y la resistencia a compresión simple. Suelos cuaternarios

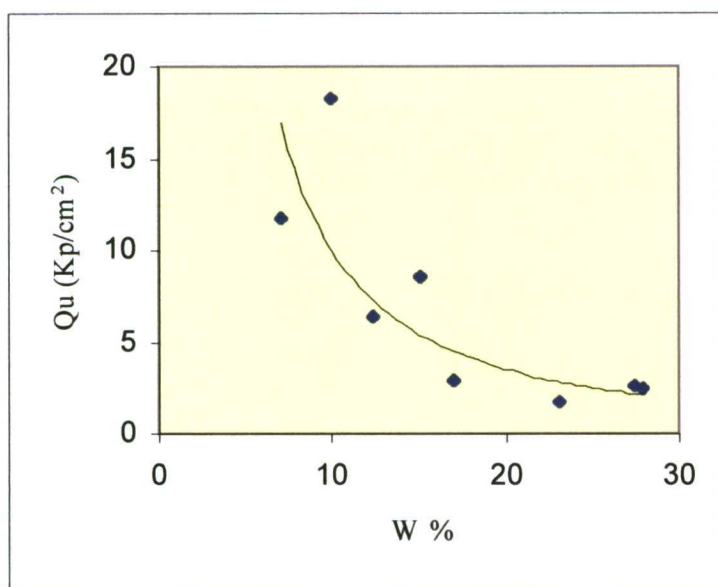


Fig.70 Relación entre la resistencia a compresión simple y la humedad del suelo.

- 6 Los parámetros de Resistencia al Corte son los esperados para unas arcillas de alta plasticidad, con valores medios de cohesión de 2 - 3,5 Kp/cm<sup>2</sup> y ángulo de fricción de 19-21°.
- 7 El Índice de Hinchamiento obtenido en el ensayo Lambe (muy por debajo del límite 0,85 Kp/cm<sup>2</sup>) determina un cambio potencial de volumen no crítico a partir de variaciones en el contenido de humedad del suelo. Se trata de suelos no expansivos.

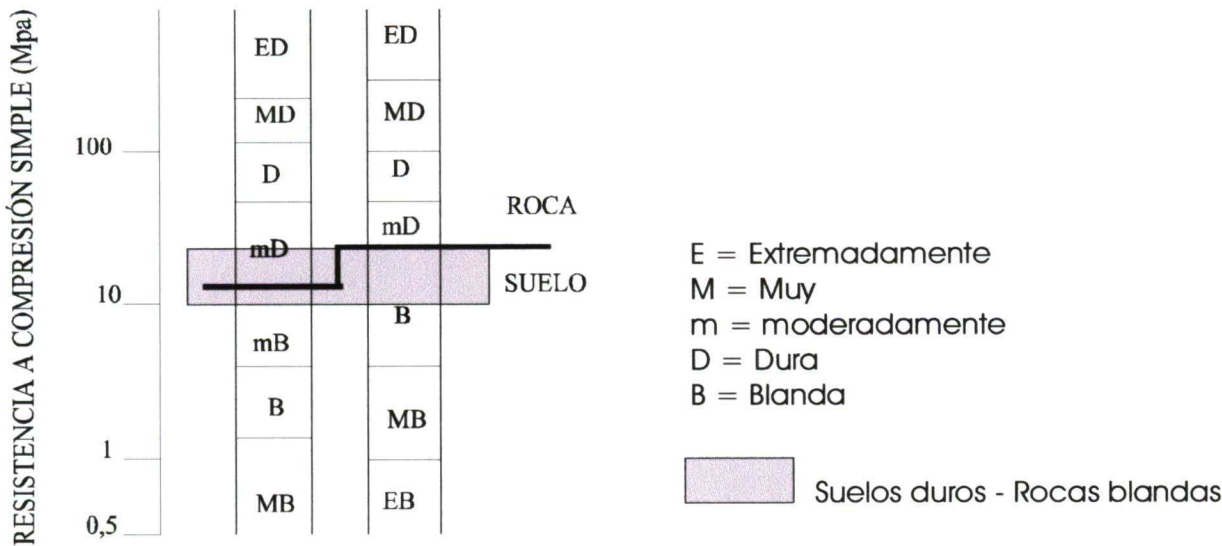
## 6.2 – CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES DE LA SERRA DE TRAMUNTANA

En el apartado anterior se han caracterizado desde el punto de vista geomecánico las diferentes litologías que afloran en la Serra de Tramuntana. Aunque algunos de los testigos de roca ensayados procedían de grandes profundidades, sometidas a un campo de esfuerzos mucho mayor, se ha comprobado en campo el grado de alteración de estos materiales y los posibles comportamientos geomecánicos que pueden tener en superficie.

Teniendo en cuenta uno de los objetivos del presente trabajo, enfocado a la caracterización de los movimientos de ladera que tienen o han tenido lugar en la Serra de Tramuntana, la clasificación geotécnica de los materiales se basará en los parámetros geotécnicos y geomecánicos obtenidos en el apartado anterior.



El parámetro que se usará para la clasificación de suelos y rocas será el valor medio de la resistencia a compresión simple de cada conjunto litológico definido, siguiendo los criterios marcados por la Geological Society of London y el I.S.R.M., recogidos en la siguiente figura (modificado de DE FREITAS, 1992).



(A)- Geol. Soc. London

(B)- ISRM

Figura.71. Clasificación geotécnica basada en el valor medio de resistencia a compresión simple. Modificado de DE FREITAS, 1992.

En el cuadro 26 se recogen los valores medios de resistencia a compresión simple y resistencia al corte de cada unidad litológica, indicando la clasificación obtenida para cada una.

Esta clasificación nos permite establecer cinco unidades litológicas en la Serra de Tramuntana, según criterios geotécnicos y geomecánicos, que van desde suelos muy blandos, con valores de resistencia a compresión uniaxial inferiores a 1 MPa, hasta rocas duras, con valores de resistencia superiores a 100 MPa. Existe un campo intermedio de transición entre suelos duros y rocas blandas (indicado en la Figura 71), que corresponde a materiales con valores de resistencia a compresión simple en torno a 10 MPa. En el Cuadro 27 se representa la clasificación geotécnica establecida para los diferentes materiales que afloran en la zona de estudio.

Esta clasificación, nos ha permitido elaborar un mapa litológico - geotécnico en cada una de las tres zonas en las que se ha dividido el área de estudio (Mapas nº 2, 10 y 18).

Edad- Formación	Litología	Corte Directo		Clasificación	Compresión Simple $\sigma_c$ (MPa)
		c (MPa)	$\phi$		
CUATERNARIO * Holoceno  * Pleistoceno	- Suelos arcillosos de alteración - Sedimentos coluviales - Sedimentos aluviales  -Depósitos coluviales antiguos	0,3	20° 37-40° 31-35°	Suelos MB Suelos mB, B Suelos mB, B  Rocas mD	0,2-1,8 8 7,5  45
NEÓGENO *Fm. Turbidítica Banyalbufar.  *Fm. Calcarenítica S. Elm	-Alternancia de margas y calcarenitas  -Areniscas, calizas, brechas y conglomerados	0,15	8° (resid)	Rocas blandas  Rocas Duras	11-15  80
PALEÓGENO *Oligoceno *Eoceno superior  *Eoceno medio	- Conglomerados en cuerpos lenticulares y bases erosivas - Conglomerados con tramos margosos y arenosos - Calizas con lignitos y lutitas rojas				
CRETÁCICO Y JURÁSICO medio superior (Dogger-Malm)	Margocalizas, calizas arcillosas con sílex, niveles margosos intercalados			Rocas blandas	15-20
JURÁSICO inferior (Lías)	Brechas dolomíticas masivas, calizas, brechas calizas y carniolas	0,3	70°	Roca mD, D	40-85
TRIÁSICO * Rethiense  • Keuper  • Muschelkalk  * Buntsandstein	-Dolomías terrosas, calizas dolomíticas y carniolas. Yesos, margas y arcillas  - Margas versicolores y evaporitas.  - Rocas volcánicas  - Dolomías tabulares. Dolomías estratificadas de color oscuro. Dolomías margosas y niveles de margas intercalados  - Lutitas de color rojo y areniscas de diversos colores	0,05	22-25°      32°	Roca Blanda, mD  Suelo EB,MB  Rocas blandas y moderadamente duras (mD)  Roca blanda, mD  Rocas Blandas- rocas moderadamente duras	10- 25  0,25-1,4  14 -30  12-15  10 (lutitas) 45(areniscas)

Cuadro. 26. Valores medios de resistencia al corte y resistencia a compresión uniaxial de los materiales de la Serra de Tramuntana. Clasificación geotécnica .



Clasificación	Litología - Edad
Suelos muy blandos (MB) y extremadamente blandos (EB)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suelos arcillosos plásticos del Holoceno</li> <li>- Facies finas del Keuper alteradas en superficie</li> </ul>
Suelos moderadamente blandos (mB), blandos (B)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sedimentos coluviales y aluviales del Holoceno</li> </ul>
Rocas blandas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fm. Turbidítica de Banyalbufar (Burdigaliense-Langhiense)</li> <li>- Margas y margocalizas del Dogger- Malm, Cretácico</li> <li>- Rocas volcánicas del Keuper</li> <li>- Lutitas rojas del Buntsandstein</li> </ul>
Rocas blandas-moderadamente duras (mD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Areniscas rojas y blanquecinas del Buntsandstein</li> <li>- Dolomías tabulares del Muschelkalk</li> <li>- Dolomías terrosas y carniolas del Rethiense</li> </ul>
Rocas moderadamente duras (mD)-duras (D)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Brechas dolomíticas y calizas del Lías</li> <li>- Brechas y conglomerados de la Fm. Calcarenítica de S. Elm (Aquitaniense-Burdigaliense)</li> <li>-Depósitos coluviales antiguos del Pleistoceno</li> </ul>

Cuadro 27. Clasificación geotécnica de los materiales de la Serra de Tramuntana

## Capítulo 7

# **CARTOGRAFÍAS DE LOS FACTORES QUE CONDICIONAN LOS MOVIMIENTOS DE LADERA**

## **7.1. - INTRODUCCIÓN**

Según el marco metodológico expuesto en el capítulo 2 de este trabajo, previo al análisis de susceptibilidad por movimientos de ladera, es imprescindible realizar un detallado análisis de todos aquellos factores condicionantes de la inestabilidad, es decir, aquellos factores intrínsecos a los diferentes materiales, como son su litología, estructura, propiedades físicas, propiedades geomecánicas, comportamiento hidrogeológico, etc., así como aquellos factores ligados a la morfología de las laderas: pendientes, concavidad y convexidad, orientación y vegetación presente.

Para abarcar el estudio de todos los factores condicionantes de los procesos de inestabilidad, se ha dividido el área de estudio en tres zonas, con la finalidad de poder realizar cartografías de cada uno de los factores considerados a una escala de trabajo 1:25,000. Para la diferenciación de las tres zonas se han seguido los criterios geológicos y geomorfológicos que se exponen en el Cuadro 28.

Zona	Extensión	Criterios geológicos	Criterios geomorfológicos
Estellencs - Banyalbufar	65 Km <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Presencia significativa de los materiales blandos de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar.</li><li>- Unidades tectónica I y II meridional, al sur de la falla de Esporles. GELABERT (1998).</li></ul>	Cuencas hidrográficas de Estellencs y Banyalbufar
Esporles – Deià	135 Km <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Importantes afloramientos del Buntsandstein en la costa. Predominio de relieves carbonatados de materiales liásicos. Valles de Esporles y Valldemossa en materiales del Muschelkalk y Keuper.</li><li>- Unidades tectónicas I y II septentrional (subunidad de Escorça), GELABERT (1998).</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Franja litoral muy escarpada</li><li>- Cuenca hidrográfica del Port des Canonge, Valldemossa y Deià.</li><li>- Presencia de dos valles en el extremo sur de la divisoria de aguas, con caracteres morfológicos similares: Esporles y Valldemossa.</li></ul>
Sóller	160 Km <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Predominio de materiales rocosos carbonatados, principalmente de edad liásica.</li><li>- Importantes masas de depósitos coluviales y aluviales del Cuaternario.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cuenca hidrográfica de Sóller</li><li>- Costa muy abrupta en materiales rocosos.</li><li>- Morfologías kársticas con gran predominio en la zona.</li></ul>

Cuadro 28. Criterios geológicos y geomorfológicos para la definición de las tres zonas de estudio.



Para cada una de las tres zonas definidas se van a analizar los factores condicionantes considerados, tomando como base las cartografías realizadas de cada uno de ellos a escala 1: 25,000. Las cartografías de estos factores condicionantes se recogen en el “Tomo II- Mapas” de este trabajo.

Las diferentes cartografías de factores condicionantes realizadas han sido las siguientes:

- Mapa geológico. Cartografía base de GELABERT (1995).
- Mapa litológico – geotécnico.
- Mapa de permeabilidades y ubicación de pozos y manantiales.
- Mapa de pendientes.
- Mapa geomorfológico e inventario de movimientos de ladera.
- Mapa de vegetación y usos del suelo.
- Mapa de sedimentos y dinámica litoral.

## **7.2. – ZONA ESTELLENCES BANYALBUFAR**

Comprende un área aproximada de 65 Km<sup>2</sup> que incluye, además del tramo de plataforma correspondiente hasta la batimétrica marina de –50 m, el término municipal de Estellencs (al SO de la zona) y la cuenca hidrográfica donde se asienta la localidad de Banyalbufar. Las dos poblaciones de la zona son Estellencs y Banyalbufar, con una población fija de 354 y 520 habitantes respectivamente. El turismo es la principal actividad del área, con más de 7 instalaciones hoteleras entre ambas localidades. Constituye una zona de 2ª residencia, tanto de población procedente de Palma como de otros países de la Unión Europea (cada vez en mayor número).

### **7.2.1. - Geología. Mapas geológico y litológico – geotécnico.**

Según el modelo estructural para la Serra de Tramuntana definido por GELABERT (1997), la zona Estellencs – Banyalbufar comprende parte de la Unidad estructural I, al sur de la falla normal del Port des Canonge, y parte del sector meridional de la Unidad estructural II. En el límite entre ambas unidades existe la “Losa de Planes”, cerca de la costa de Banyalbufar, posiblemente de origen olitostrómico (RODRIGUEZ PEREA & POMAR, 1983) y de naturaleza dudosa, ya que no parece encajar en ninguna de las dos unidades estructurales definidas.

Desde el punto de vista litológico, la zona se caracteriza por la presencia de los materiales más antiguos de la serie en la franja costera. Destacan afloramientos del Buntsandstein: lutitas y areniscas de colores rojos y amarillentos de origen fluvial, en el Port de Estellencs y Hort de Planicia, así como afloramientos de los materiales dolomíticos del Muschelkalk y pequeños retazos de litologías del Keuper.

De forma discordante, y constituyendo el sustrato de las cuencas donde se asientan las localidades d Estellencs y Banyalbufar, afloran las facies turbidíticas de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar. Se trata de un conjunto de margas de colores grisáceos y amarillentos, con niveles calcareníticos intercalados y una estratificación

subhorizontal. En algunos puntos de la costa y cercanos a ésta, aparece la “Unidad basal” de la serie turbidítica, definida como Formación Calcarenítica de Sant Elm, en facies de brechas y calcarenitas, que constituyen los niveles más duros del conjunto turbidítico.

Mediante contacto mecánico de cabalgamiento, sobre los materiales anteriormente descritos, aparece la serie mesozoica de la Serra a partir del Keuper con gran complejidad estructural entre las diferentes litologías. Destacan importantes relieves (Puig des Galatzó, Mola de Planícia, Serra des Pinotells etc.), constituidos principalmente por las rocas duras carbonatadas del Lías (calizas y brechas calcáreas), limitados por laderas más suaves de materiales dolomíticos y margosos del Rethiense y Muschelkalk. En la base de los cabalgamientos, suelen aflorar los materiales blandos del Keuper, en facies lutíticas con rocas volcánicas y yesos. Éstos últimos han sido explotados en el pasado en la zona conocida como “Es Guixos”, al sur de la localidad de Estellencs.

En el margen oeste de la zona de estudio aparece el único afloramiento de sedimentos del Lías medio y superior (Dogger-Malm). Se trata de una estructura sinclinal de margocalizas con niveles margosos intercalados.

Los sedimentos recientes cuaternarios tienen una amplia representatividad en la zona. Depósitos de derrubios de ladera: conglomerados de cantos heterométricos en una matriz fina arcillo-limosa, ocupan amplias extensiones asociadas a los frentes montañosos. Los sedimentos cuaternarios de la cuenca de Banyalbufar parecen estar relacionados con un gran deslizamiento de ladera, como se comentará posteriormente. Destacan los sedimentos cuaternarios de origen torrencial en el Port d’Estellencs.

Respecto a la estructura, excepto los sedimentos recientes cuaternarios, el resto de las litologías se encuentran muy tectonizadas. La estratificación únicamente es evidente en los afloramientos costeros del Buntsandstein (buzamientos hacia el O), en las dolomías tabulares del Muschelkalk (buzamientos generales hacia el SO), y en los niveles calcareníticos de la Formación turbidítica de Banyalbufar (estratificación subhorizontal). El resto de las litologías, especialmente los macizos rocosos liásicos e infraliásicos se muestran con una estructura masiva, sin planos de estratificación visibles.

Respecto a estructuras tectónicas, las turbiditas burdigalienses – langhienses muestran deformaciones (fallas y pliegues) vergentes al norte, y están afectadas por dos familias principales de discontinuidades con fuertes buzamientos hacia el N y O. El resto de materiales premiocenos se encuentran ampliamente deformados y tectonizados, destacando aquellos que constituyen la base de los principales cabalgamientos (sedimentos del Keuper fundamentalmente) que pueden estar totalmente laminados.

En el mapa nº 1 (Tomo II –Mapas), se representa la geología de la zona Estellencs – Banyalbufar según GELABERT (1995).

Tomando como base de partida el mapa geológico y la caracterización geomecánica de los diferentes materiales que constituyen la Serra (Capítulo 5 de este trabajo), así como la clasificación geotécnica realizada de los materiales basada en el valor de resistencia a compresión simple, se ha realizado el mapa litológico – geotécnico de la zona (mapa nº2, Tomo II – Mapas).



En el mapa litológico – geotécnico, se observa un predominio de las rocas moderadamente duras y duras hacia las cotas más altas, correspondiendo principalmente a los materiales carbonatados liásicos. En la cuenca de Estellencs y al oeste de la zona de estudio, afloran litologías con comportamiento de rocas blandas, correspondientes a los materiales del Jurásico medio-superior y a la Fm. Turbidítica de Banyalbufar. Respecto a estos últimos materiales conviene resaltar la pérdida de resistencia de las litologías margosas al quedar expuestas en superficie, por los procesos de alteración y meteorización física (MATEOS & TSIGE, 1998). Los sedimentos del Keuper alterados en superficie se comportan como suelos muy blandos y extremadamente blandos, y los depósitos coluviales recientes como suelos moderadamente blandos y blandos. En un esquema muy simple de la zona podría decirse que, hacia el litoral, predominan litologías más blandas con comportamientos de suelos y rocas blandas, mientras que hacia las cumbres existe un claro predominio de los macizos rocosos.

### **7.2.2. - Hidrogeología . Mapa de permeabilidades**

La hidrogeología de la zona es bastante compleja en cuanto a las diferentes litologías que aparecen y a sus relaciones estructurales. En el mapa nº 3 (Tomo II – Mapas), se representa la cartografía de permeabilidades, con la ubicación de las fuentes y manantiales y los pozos de la zona. La zonificación del terreno según el tipo y grado de permeabilidad se ha realizado tomando como base de partida el mapa geológico y el conocimiento hidrogeológico de los diferentes materiales. Se han diferenciado las siguientes zonas:

- Terrenos permeables por fisuración y/o karstificación. Se trata de acuíferos en macizos rocosos carbonatados, que litológicamente se corresponden con las calizas y brechas carbonatadas del Lías y niveles altos del Rethiense, así como las brechas y calcarenitas de la Fm. Calcarenítica de Sant Elm. En la zona de estudio los afloramientos permeables de este tipo constituyen unos 20 Km<sup>2</sup>. Según datos de ensayos de bombeo del I.T.G.E (1970-1998) en la zona, los valores de transmisividad de estos acuíferos carbonatados oscilan entre 600-1000 m<sup>2</sup>/día.
- Terrenos permeables por porosidad. Corresponden a acuíferos detríticos constituidos por sedimentos granulares. En la zona de estudio este tipo de acuíferos, generalmente de escasa entidad, los constituyen los sedimentos coluviales y aluviales cuaternarios. No se dispone de datos de parámetros hidrogeológicos de estos materiales, pero es importante resaltar que el contenido en arcilla de la matriz de estos sedimentos condicionará el grado de permeabilidad.
- Terrenos de permeabilidad media – baja. Desde el punto de vista hidrogeológico se trata de acuitardos. Litologías correspondientes a las lutitas y areniscas muy cementadas del Buntsandstein, dolomías con niveles margosos del Muschelkalk, dolomías terrosas y margas del Rethiense, así como margocalizas y margas del Dogger y Malm, presentan este comportamiento hidrogeológico.
- Terrenos de muy baja permeabilidad. Corresponden a las litologías prácticamente impermeables del Keuper y al conjunto margoso de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar. En la zona de estudio, los afloramientos impermeables representan unos 8 Km<sup>2</sup> de superficie.

La pluviometría media de esta zona es de unos 524 mm/año, según los últimos 40 años de registro en la estación meteorológica B087 Banyalbufar. La escorrentía superficial se ve muy favorecida por la elevada pendiente y la cercanía de la divisoria de aguas al mar. Se puede estimar que tan sólo un 10% de la precipitación se infiltra a través de los afloramientos permeables, que corresponden principalmente a los relieves carbonatados.

Las fuentes y manantiales drenan principalmente los acuíferos calizodolomíticos liásicos que han quedado colgados, y su localización está muy relacionada con los contactos geológicos entre estos materiales permeables y los materiales de baja permeabilidad (Fm. Turbidítica de Banyalbufar, arcillas del Keuper, niveles margosos del Muschelkalk y Rethiense). Destacan fuentes que drenan pequeños caudales ubicadas al pie de masas deslizadas, tal es el caso de Sa Font (nº 11 del inventario, mapa nº3. Tomo II-Mapas) y Sa Font des Calaputs (nº 7, mapa nº3. Tomo II - Mapas).

En el Cuadro 29 se recogen los principales datos de las fuentes y manantiales inventariados, destacando el manantial de “Sa Font de la Vila” que abastece a la localidad de Banyalbufar, y drena el acuífero kárstico de los relieves carbonatados de Planícia.

Toponimia	Nº inventario	Naturaleza	Caudal m <sup>3</sup> /h
Sa Font de Sa Torre	16	Fuente	2
Sa Font	11	Fuente	0,4
Sa Font de Sa Menta	10	Fuente	9,0
Sa Font Can Fue	9	Fuente	0,1
Sa Font des Calaputs	7	Fuente	0,1
Sa Font de Cas Doctor	6	Fuente	0,1
Sa Font des Garbell	4	Fuente	0,3
Sa Font des Verger	3	Fuente	0,2
Sa Font de la Vila	1	Manantial	39

Cuadro 29. Principales fuentes y manantiales de la zona Estellencs – Banyalbufar.

El resto de los puntos inventariados en el mapa corresponden a galerías excavadas para extraer agua, construidas por las necesidades agrícolas del pasado, y que llenan unas balsas artificiales de escasa capacidad individual (200 m<sup>3</sup> aproximadamente).

La explotación de las aguas subterráneas mediante pozos es muy escasa en la zona en relación con el resto de la isla. Destacan algunos pozos con bajos rendimientos que explotan los acuíferos detríticos cuaternarios y ciertos pozos en el entorno de Estellencs que, por su escasa profundidad, deben explotar los niveles más permeables de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar.



### 7.2.3. - Geomorfología. Mapas de pendientes y geomorfológico

Esta zona cumple las generalidades de la abrupta topografía de la Serra de Tramuntana; en escasos cuatro kilómetros se pasa del nivel del mar a altitudes en torno a los 1,000 m (Puig de Galatzó, 1027 m, Planícia, 934 m). El análisis hipsométrico de la zona revela que el 50% de la superficie se encuentra a cotas superiores a los 400 m.(planimetría por el método de Miller). En la Fig.72, se representan la curva hipsométrica de la zona Estellencs – Banyalbufar, representando en el eje de abcisas las superficies acumuladas. Se observa un claro punto de inflexión a la cota de 800m. El perfil revela formas cóncavas del relieve a cotas más elevadas, pasando a un perfil convexo en el tramo intermedio, para finalizar con un perfil rectilíneo hacia cotas más bajas cercanas a la costa.

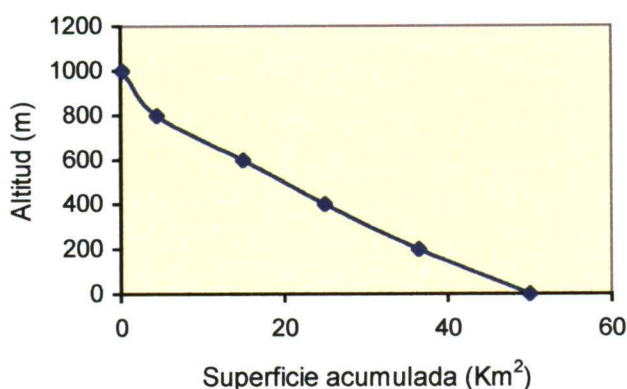


Fig. 72. Curva hipsométrica de la zona Estellencs - Banyalbufar

Se ha realizado el mapa de pendientes de la zona (mapa nº 4, Tomo II-Mapas) considerando cinco intervalos de pendientes. En la Fig.73 se representa la relación entre las pendientes y la superficie de la zona dentro de cada rango establecido. Se observa, que el 80% de la zona se encuentra en un rango de pendientes entre 10° - 35°, y aproximadamente un 16% de la superficie de la zona presenta pendientes superiores a los 35°.

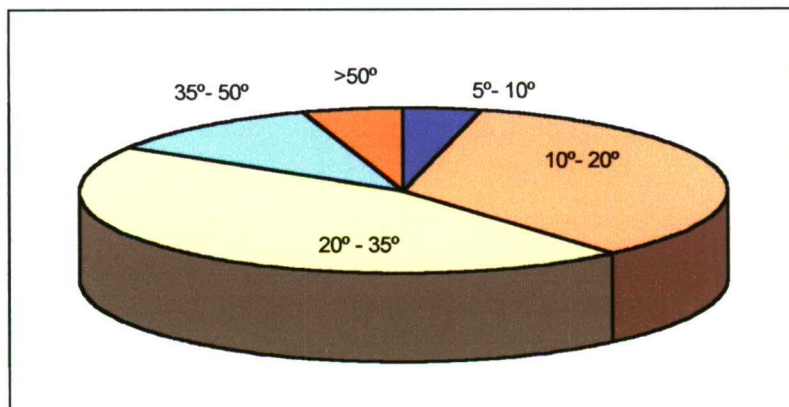


Fig. 73. Relación superficie – pendientes en la zona de Estellencs – Banyalbufar

En el mapa nº 5 (Tomo II – Mapas), se representa la cartografía morfogenética y de inventario de movimientos de ladera, donde se han representado las diferentes formas que aparecen asociadas a los siguientes procesos actuales:

- Tectónicos: escarpes de falla, escarpes de línea de falla, cima anticlinal,
  - Litorales: acantilados activos
  - Kársticos: lapiaz, dolinas, poljes, cañones kársticos etc.
  - Fluviales: cursos torrenciales, formas de erosión torrencial etc.
  - Gravitacionales: Deslizamientos, flujos, frente de caída de rocas, conos de derrubios etc.
- 
- Respecto a las formas asociadas con estructuras tectónicas destacan los escarpes de falla, asociados generalmente a frentes de cabalgamiento que superponen las calizas liásicas sobre materiales más blandos, y cuyas direcciones siguen las alineaciones generales de la Serra de Tramuntana (NE-SO). Los escarpes suelen ser subverticales, constituyendo farallones rocosos de decenas de metros de altura que actúan como frentes de caída de rocas y acumulan en su base depósitos de derrubios de varios metros de espesor. Cabe resaltar en la zona el escarpe rocoso asociado a un frente de cabalgamiento que discurre de forma paralela a la carretera C-710 (PK. 88-90) entre Banyalbufar y Estellencs, y que constituye una zona de alto riesgo por caída de rocas.
  - Las morfologías kársticas del mapa hacen referencia fundamentalmente al modelado exokárstico; destacando lapiaces, depresiones kársticas (dolinas) y cañones kársticos. Estas formas del relieve aparecen en las zonas altas, donde afloran las calizas liásicas, y son especialmente relevantes en el entorno del Puig des Galatzó, Serra des Pinotells y Serra des Puntals.
  - Respecto a los procesos fluviales, los torrentes que drenan esta vertiente tienen cursos muy rectilíneos y elevados gradientes. Destacan la cuenca del Torrent de S'Aigua (14 Km<sup>2</sup>), donde se asienta la localidad de Estellencs; la cuenca del Torrent de S'Algar (7,5 Km<sup>2</sup>), y la cuenca del Torrent de Banyalbufar y Torrent de Can Fura (9 Km<sup>2</sup>). Algunos de estos torrentes son alimentados por fuentes a lo largo de su recorrido, aunque en la actualidad este hecho solo ocurre durante los meses de elevadas precipitaciones. Los torrentes de Estellencs, S'Algar y d'en Rola (o de Banyalbufar) se encuentran colgados, y desembocan al mar formando cascadas a través de los acantilados (hasta 30 m de altura en la Cala de Banyalbufar).
  - Las morfologías ligadas a procesos gravitacionales son las más destacables en el mapa morfogenético, que junto a aquellas relacionadas con la estructura tectónica, podría afirmarse que configuran el relieve de la zona Estellencs – Banyalbufar. Se han diferenciado formas recientes y antiguas ligadas a deslizamientos de tipo rotacional, en suelos y rocas, y movimientos de tipo flujo en suelos principalmente. Independientemente se han representado los frentes y escarpes de caída de rocas, así como los conos de derrubios y canchales que éstos generan. Destacan los deslizamientos rotacionales y flujos recientes en la cuenca de Estellencs, ligados a litologías blandas, tales como los materiales del Keuper y los sedimentos margosos de la Formación Turbidítica de Banyalbufar (Corte I, Fig. 81).



Es importante resaltar el deslizamiento antiguo de tipo rotacional que configuró la cuenca de Banyalbufar y sobre el cual se ha instalado la actual red de drenaje, movilizando un volumen aproximado de material de  $3.5 \times 10^7 \text{ m}^3$  (Corte II. Fig. 103, véase Capítulo 8, Apartado 8.4).

#### 7.2.4. – Vegetación y usos del suelo.

En el mapa nº6 (Tomo II-Mapas) se ha representado la vegetación y usos del suelo de la zona Estellencs – Banyalbufar. Los grupos de vegetación se han establecido en base a su contribución al sostenimiento del suelo.

- El bosque de encinar (*Quercus ilex*), presente en el extremo NE de la zona de estudio y a cotas superiores a 400m, constituye el bosque autóctono del área y representa el piso de vegetación con una mayor contribución al sostenimiento del suelo.
- El matorral (Comunidad *Rosmarino – Ericion*), no sólo aparece en las cotas más altas (Serra des Puntals, Puig des Galatzó y Planícia) sino en una extensa área del extremo O y SO de la zona, probablemente ligado a un proceso continuo de deforestación. Su contribución al sostenimiento del suelo es prácticamente nula.
- El bosque de pinar (*Pinus halepensis*) cubre aproximadamente el 40% de la superficie de la zona de estudio, prácticamente toda la franja litoral y aquellas zonas cuyo sustrato está formado por sedimentos de tipo coluvial. Contribuye al sostenimiento del suelo, aunque en menor grado que el bosque de encinar.
- El pasado agrícola de la zona se refleja en un paisaje aterrazado de “marjadas”, donde tradicionalmente se ha desarrollado un cultivo de pequeños huertos (entorno de las localidades de Estellencs y Banyalbufar), así como especies arbóreas de secano (olivos, almendros, algarrobos etc.). En la actualidad, se intenta recuperar el cultivo de la viña malvasía en las “marjadas” más cercanas al mar de ambas localidades.

#### 7.2.5. - Dinámica litoral

El mapa nº 7 (Tomo II – Mapas) de sedimentos y dinámica litoral de la zona, se ha elaborado en base a los datos de sondeos marinos realizados por la Dirección Gnal. de Costas del MOPT en la Costa Norte de Mallorca durante el año 1992. Se ha representado la topografía de la plataforma marina hasta la batimétrica –50 m, y el tipo y espesor de sedimentos recientes no consolidados.

Destaca la zona de batida del oleaje (hasta la batimétrica –25 m aprox.), en cuyo fondo aparecen afloramientos rocosos y la acumulación de grandes bloques procedentes de la erosión marina en la base de los acantilados. Entre las Puntas de S'Escletxa y Son Serralta (cotas -25m. y – 45m), aparece una franja de acumulación de sedimento grueso (arenas gruesas y gravas) con praderas vegetales de *Posidonia oceanica*.



Afloramientos de este tipo se presentan también en el extremo más nororiental de la costa de Banyalbufar y en la costa frente a Sa Talaya de Banyalbufar. El resto de los afloramientos corresponden a arenas finas y medias, en ocasiones con praderas vegetales.

En relación al espesor de sedimentos no consolidados, se observan tres zonas de mayor acumulación: el tramo litoral correspondiente a la cuenca de Banyalbufar (isopacas de hasta 13 m), el tramo que queda comprendido entre la Punta de Son Serralta y Sa Atalaya (isopacas de hasta 13 m) y el extremo SO de la zona de estudio (isopacas de hasta 21m). La representación de las isopacas refleja una cierta alineación de los sedimentos recientes en dirección NNE-SSO.

Si se relaciona el mapa morfogenético de tierra con el mapa de sedimentación y dinámica litoral de la zona, se observa claramente que las zonas con mayor espesor de sedimentos en el litoral corresponden a zonas emergidas con un intenso dinamismo de laderas cercano a la costa: frentes de caída de rocas, acantilados activos, deslizamientos en sedimentos coluviales etc. Destaca la cuenca de Banyalbufar, cartografiada como un gran deslizamiento, que se corresponde igualmente con una mayor acumulación de sedimentos en la costa.

Los aportes de los torrentes no parece tener demasiada importancia en el conjunto de la sedimentación litoral, ya que no se observa una mayor acumulación de sedimentos en las áreas de desembocadura. No obstante, se tiene constancia de la formación de pequeños deltas en la salida del torrente de Estellencs (cala Estellencs) durante la ocurrencia de fuertes aguaceros.

Parece claro que la sedimentación acumulada en la plataforma somera de este litoral procede básicamente de los aportes de tierra, y concretamente es el resultado de una dinámica muy activa de laderas y acantilados.

### **7.3. – ZONA ESPORLES – DEIÀ**

Comprende un área aproximada de 135 Km<sup>2</sup>, que incluye, además del tramo de plataforma correspondiente hasta la batimétrica marina de -50 m, el extremo oriental del término municipal de Banyalbufar (Port des Canonge), la mitad septentrional del término municipal de Esporles (incluido el núcleo de población), el término municipal de Valldemossa (excepto el extremo más meridional) y el término municipal de Deià. Existen tres núcleos de población principales: Esporles, Valldemossa y Deià, y algunos núcleos residenciales con una importante población estacional: Port des Canonge, Son Coll, Nova Valldemossa, Urb. George Sand, Sa Marina de Valldemossa y Lluc- Alcari. La población permanente de esta zona se cifra en torno a los 5,600 habitantes, con una población estacional superior a los 25,000. El turismo es la principal actividad económica, destacando los núcleos de Valldemossa y Deià con numerosas instalaciones hoteleras. La carretera comarcal C-710, que discurre paralelamente a la línea de costa, presenta durante los meses estivales una afluencia diaria de más de 20,000 vehículos (datos de la Conselleria de Turismo del Govern Balear).



### 7.3.1. – Geología. Mapas geológico y litológico – geotécnico

Según la división estructural de la Serra de Tramuntana (GELABERT, 1998), la zona en cuestión formaría parte de la mitad oriental de la Unidad I (limitada por la falla normal del Port des Canonge), que aflora en la franja costera hasta Cala Deià, y está compuesta por una serie de materiales triásicos recubierta discordantemente por las unidades del Mioceno inferior. A cotas más altas aflora el sector septentrional de la Unidad II (Subunidad de Escorça) con afloramientos masivos de materiales del Rethiense y Lías. El Límite entre la Unidad I y II viene dado por una superficie de cabalgamiento que superpone la II sobre la I.

Desde el punto de vista litológico, la Unidad I se caracteriza por extensos afloramientos de areniscas y lutitas del Buntsandstein en la franja costera, destacando los afloramientos del Port des Canonge en el extremo occidental de la zona. Los afloramientos del Muschelkalk en la costa son de limitadas extensiones, al sur del Port des Canonge y en la punta de Sa Foradada. Los afloramientos del Keuper en esta Unidad están escasamente representados por algunos metros de limolitas y margas rojas con niveles de dolomías y/o carniolas, a techo de los materiales del Muschelkalk. De forma discordante se disponen los materiales turbidíticos del Burdigaliense – Langhiense, correspondientes a la Fm. Turbidítica de Sant Elm y Fm. Turbidítica de Banyalbufar, destacando los afloramientos en el sector O del Port des Canonge (Son Bunyola) y al NO de la localidad de Deià (Es Pi y Miramar).

El resto de la zona, correspondiente al sector septentrional de la Unidad II y situada a cotas superiores, se caracteriza por extensos afloramientos de rocas carbonatadas del Lías y Rethiense (Mola de Son Pacs, Sa Comuna de Valldemossa, Serra de Son Moragues, Fontanelles, Povet, Serra des Boixos). En las tres cuencas donde se asientan las localidades de Esporles, Valldemossa y Deià afloran los materiales del Muschelkalk (en facies predominantemente margosas) y niveles blandos del Keuper.

Los sedimentos recientes cuaternarios corresponden principalmente a cuerpos de conos de derrubios asociados a frentes rocosos. Destacan los extensos depósitos de este tipo situados al NE de la localidad de Deià y en el margen litoral entre el Port de Valldemossa y Cala Deià. En el centro de la zona destaca un área muy plana (Pla del Rei, Ses Roques, Son Ferrandell) cuyo origen puede deberse a una depresión kárstica rellenada por depósitos aluviales recientes.

Respecto a la estructura geológica, destaca la falla normal premiocena del Port des Canonge (GELABERT, 1998), cuya traza tiene una orientación NNE-SSO con continuidad a escala cartográfica (a lo largo de 5 Km) desde el Port des Canonge hasta el Port de Valldemossa. La estratificación es solamente evidente en los niveles más bajos de la serie de la Unidad I, destacando los materiales del Buntsandstein y Muschelkalk en el entorno del Port des Canonge, con buzamientos de hasta 40° hacia el E. Las turbiditas burdigalienses – langhienses que coronan la unidad muestran deformaciones sedimentarias (fallas y pliegues) vergentes al N.

La Unidad tectónica II se dispone sobre la anterior. El zócalo mesozoico de su base (facies Keuper y Rethiense) se encuentra muy tectonizado e incluso laminado (Fig. 74). Esta deformación parece afectar también al techo de la Unidad I, desarrollándose una esquistosidad asociada a la superficie de cabalgamiento. El resto de la serie mesozoica, paleógena y miocena de la Unidad II está afectada por numerosas fallas normales pre y post cabalgamiento, así como por estructuras de plegamiento vergentes hacia el NO. En los potentes niveles carbonatados del Rethiense y Lías no se observa una estratificación definida, sino una estructura masiva.



Fig.74. Materiales del Keuper laminados y plegados. Cruce de carreteras Esporles – Puigpunyent.

En el mapa nº 10 litológico –geotécnico de la zona (Tomo II – Mapas), se muestra el predominio de las rocas moderadamente duras y duras, con un extenso afloramiento de rocas blandas en el Port des Canonge. Los sedimentos recientes del Cuaternario y materiales muy alterados del Keuper ofrecen un comportamiento de suelos, algo más resistentes los correspondientes a sedimentos de tipo coluvial.

### **7.3.2. - Hidrogeología. Mapa de permeabilidades**

La precipitación media anual para esta zona, calculada en base a los datos meteorológicos de tres estaciones B086 Son Creus, B084 Son Mas y B077 Son Bujosa, se estima en 720 mm. Como norma general en esta vertiente de la Serra de Tramuntana, la escorrentía superficial se ve muy favorecida por la elevada pendiente de la zona y la cercanía de la divisoria de aguas.



El mapa nº 11 de permeabilidades (Tomo II – Mapas) muestra extensos afloramientos de materiales permeables por fisuración y/o karstificación, que corresponden a acuíferos colgados de naturaleza carbonatada (calizas y dolomías liásicas principalmente). Existe un acuífero cuaternario de interés local, permeable por porosidad, que ocupa una considerable extensión en los llanos del Pla del Rei (al O de la localidad de Valldemossa), donde se concentran la mayoría de los pozos inventariados.

Las fuentes y manantiales inventariados drenan los acuíferos calizo-dolomíticos que han quedado colgados, al entrar en contacto con materiales de baja y muy baja permeabilidad. Los caudales de estas fuentes son muy variables a lo largo del año, respondiendo de forma rápida a las precipitaciones y quedando prácticamente secas durante los meses estivales.

En el Cuadro 30 se recoge la información obtenida de las principales fuentes y manantiales de la zona, resaltando el enorme interés de algunas de ellas como fuentes de abastecimiento a las principales localidades.

Toponimia	Nº inventario (t.m.)	Naturaleza	Caudal medio m <sup>3</sup> /h	Observaciones
Sa Font de Sa Vednia	39 (Valldemossa)	Fuente	0,3	
Sa Font Tornersa	42 (Valldemossa)	Fuente	12,00	Drena los relieves carbonatados de Sa Comuna de Valldemossa
Font des Verger	43 (Valldemossa)	Fuente	1,00	
Sa Font de Son Brando	38 (Valldemossa)	Fuente	1,0	
Son Mas	26 (Valldemossa)	Fuente	9,00	
Sa Font Viva	28 (Valldemossa)	Fuente	5,00	Surgencia kárstica
Casa Reus	32 (Valldemossa)	Fuente	1,00	Se sitúa al pie de una masa deslizada
Font des Bosch	11 (Esporles)	Manantial	-	
Font Xica	13 (Esporles)	Manantial	0,8	
Son Moragues I y II	15, 16 (Valldemossa)	Fuente	0,4	Pequeñas masas deslizadas
Font Nova de Sa Coma	3 (Valldemossa)	Manantial	6,00	Se sitúa al pie de una masa deslizada
Font des Molí	6 (Deià)	Manantial	95,00	Principal fuente de abastecimiento de Deià
Font Fresca	15 (Deià)	Fuente	31,00	
Es Recó	18 (Deià)	Fuente	18,00	
Font de Can Comelles	228 (Deià)	Fuente	1,1	Drena un acuífero cuaternario de sedimentos coluviales

Cuadro 30. Principales fuentes y manantiales de la zona Esporles – Deià.

Destacan un conjunto de fuentes al E de la localidad de Valldemossa, de escaso rendimiento, que se sitúan al pie de masas deslizadas: Casa Reus, Son Moragues I y II.

### 7.3.3. – Geomorfología. Mapas de pendientes y geomorfológico

La mitad occidental de la zona presenta una topografía menos abrupta que la oriental, destacando en esta última la Serra de Son Moragues y la Serra des Boixos, con altitudes cercanas a los 1100 m (Es Teix, 1062 m). Destaca en la zona la franja más litoral, por su carácter abrupto y en ocasiones inaccesible. El análisis hipsométrico de la zona revela que un 40% de su superficie se encuentra entre las cotas 400 – 600m, y un 10% de la misma a cotas superiores a los 800m. En la Fig. 75, se representa la curva hipsométrica (planimetría método de Miller) con superficies acumuladas en ordenadas, que revela un relieve con un perfil cóncavo – convexo bastante abrupto.

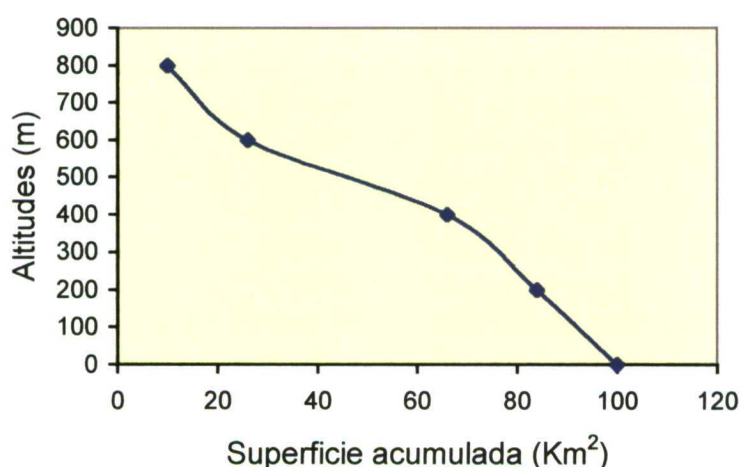


Fig. 75. Curva hipsométrica de la zona Esporles - Deià

En el mapa nº12 (Tomo II – Mapas) se representa el mapa de pendientes de esta zona, donde queda reflejado que el 55% de la superficie presenta pendientes comprendidas entre 10° - 20°. El 10% de la superficie ofrece pendientes superiores a los 50°. En la Fig.76 se representa la relación entre las pendientes y la superficie de la zona dentro de cada rango establecido.

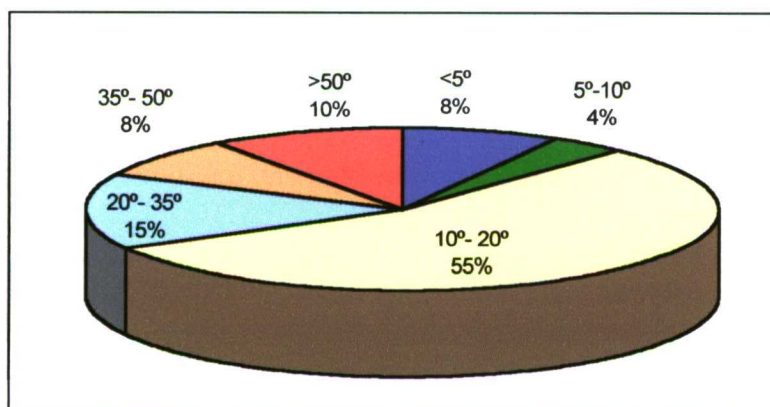


Fig. 76. Relación superficie – pendientes en la zona Esporles – Deià



En el mapa nº13 (Tomo II – Mapas) se representa la cartografía morfogenética e inventario de movimientos de ladera de la zona, donde se muestran las diferentes morfologías relacionadas con los diversos procesos morfodinámicos que modelan el relieve.

Destaca la cuenca del Port des Canonge y toda la franja litoral hasta la cota de 350 m, donde aparecen frentes continuos de caída de rocas, en numerosos casos ligados a escarpes de línea de fallas (Corte III, Fig. 82). Este hecho se produce generalmente asociado a los frentes de cabalgamiento que configuran los principales relieves de la zona, y que siguen una alineación general SW-NE; así como a los contactos geológicos entre los materiales duros del Lías y los menos resistentes del Rethiense, que dan lugar a impresionantes farallones rocosos.

En los relieves que rodean a la localidad de Valldemossa, y asociados a materiales con comportamiento de suelos, depósitos recientes de derrubios de ladera sobre sedimentos del keuper, aparecen deslizamientos complejos de tipo rotacional con flujos asociados. Este tipo de movimientos son también los característicos del extremo más septentrional del mapa, al NE de la localidad de Deià, donde se produce la peligrosa combinación de ambos tipos de materiales.

Lo más destacable de la hoja es la cuenca de Deià, con forma de anfiteatro y rodeada de frentes rocosos casi verticales. En los materiales liásicos, al pie de Sa Galera (905 m), GELABERT (1998) cartografía fallas normales recientes, que parecen corresponder a deslizamientos en roca tipo slump. En el Corte V (Fig. 83) se ha realizado un corte geológico – geomorfológico de dirección E-O de esta cuenca, desde los altos relieves de la Serra des Boixos hasta la costa. En el citado corte se observan los diferentes tipos de movimientos de ladera que aparecen en la zona: deslizamientos en roca tipo slump que afectan a los materiales liásicos e infraliásicos; deslizamientos rotacionales que afectan a los sedimentos recientes coluviales que descansan sobre el Keuper; y deslizamientos rotacionales con flujos asociados que afectan a los materiales blandos y alterados en superficie de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar (ladera E de Son Marroig).

Respecto a la red de escorrentía superficial, destacan tres cuencas en la vertiente litoral:

- Cuenca del Port des Canonge: superficie de 9 Km<sup>2</sup>. La cuenca, de forma semicircular, queda limitada por frentes rocosos asociados a estructuras tectónicas. Los torrentes presentan fuertes gradientes en los tramos iniciales, suavizándose éstos en las zonas bajas de la cuenca, donde afloran los materiales más blandos del Buntsandstein. Destaca el torrente de Son Bunyola, que forma un pequeño delta en su desembocadura.
- Cuenca de Sa Marina de Valldemossa: superficie de casi 20 Km<sup>2</sup>. El torrente de Sa Marina nace al pie del Puig Fontanelles (874 m), en el denominado “Estret de Son Gallard”, que morfológicamente constituye un cañón kárstico. El torrente de Es Verger circula en su tramo inicial por las zonas llanas de Son Ferrandel y Hort des

Romagues (al O de Valldemossa) y en el pasado se alimentaba principalmente de la Font des Verger. Lo más destacable de esta cuenca es la desembocadura de ambos torrentes, que se unen en Sa Marina de Valldemossa, después de salvar un desnivel de 300m en apenas 250 m de recorrido, formando espectaculares cascadas (Tahoa des Frares) tras la ocurrencia de intensas lluvias. Este desnivel, que forma abrupta subcuenca de la Marina de Valldemossa, está ligado a contacto litológico entre las calizas liásicas y los materiales más blandos del Rethiense.

- Cuenca de Deià: superficie de 15 Km<sup>2</sup>. Con una morfometría dentrítica de la red de drenaje, queda limitada al sur por los escarpados frentes rocosos de la Serra des Boixos. En la desembocadura del Torrent Major, en la cala de Deià, se observa unos potentes depósitos fluviales cuaternarios cortados por la actual línea de costa. Este registro sedimentario puede avalar la instalación de la actual red de drenaje tras la ocurrencia de un gran deslizamiento que configuró la cuenca de Deià, y puso a disposición de los cursos de agua superficial un importante volumen de material suelto fácilmente erosionable.

Hacia el sur de la zona aparecen las áreas de recepción de las cuencas de los torrentes de Esporles y d'Avall (Valldemossa). Cabe destacar el Torrent d'Avall, que nace en la Serra de Son Moragues. Con un recorrido muy rectilíneo inicial, gira hacia el S al entrar en la localidad de Valldemossa, siguiendo perfectamente las alineaciones tectónicas de la zona. En el margen izquierdo de este torrente, aparecen numerosos movimientos de ladera que afectan a los materiales poco resistentes del Keuper y Muschelkalk, así como a los derrubios de ladera que se ubican sobre ellos. Estos deslizamientos son los responsables de las inflexiones que sufre el curso del torrente en este tramo.

El modelado kárstico no es muy representativo de esta zona. Destacan algunos cañones kársticos en la cabecera de algunos torrentes (al N de la localidad de Esporles) y sobre todo cabe resaltar la zona prácticamente plana, de unos 5 Km<sup>2</sup> de superficie, que comprende el Pla del Rei, Ses Roques, Es Verger y Son Ferrandell, al O de la localidad de Valldemossa. Como se ha comentado anteriormente, el origen de esta planicie parece estar ligado a una depresión kárstica, rellenada posteriormente por sedimentos aluviales y capturada por los torrentes que vergen hacia la Marina de Valldemossa.

#### **7.3.4. - Vegetación y usos del suelo**

En el mapa nº 14 (Tomo II- Mapas) se ha representado el mapa de vegetación y usos del suelo de la zona Esporles – Deià, que puede resumirse en los siguientes puntos:

- El bosque de encinar se conserva en las zonas de menor presión antrópica, destacando la Serra de Son Pacs (entre Esporles y Valldemossa) y las zonas más altas de la Serra de Son Moragues (al E de la localidad de Valldemossa). Representa el piso de vegetación con una mayor contribución al sostenimiento del suelo y está presente en zonas abruptas con pendientes incluso superiores a los 35°.



- El matorral es poco representativo en esta zona. Destacan franjas en la costa, ligadas a conos de derrubios activos y acantilados. En las cumbres de la Serra des Boixos predomina esta vegetación en sustratos rocosos calizos, a cotas superiores a los 700 m.
- El bosque de pinar cubre aproximadamente el 40% de la superficie de la zona, predominantemente en la vertiente costera. Se asienta sobre cualquier litología y pueden cubrir pendientes muy elevadas, en ocasiones hasta el mismo borde de los acantilados (Fig.77). Contribuye al sostenimiento del suelo con un grado medio. En las laderas móviles, la inclinación de algunos ejemplares de *Pinus halepensis* es espectacular, con ángulos de hasta 45° respecto a la vertical.
- El uso agrícola del suelo se caracteriza por pequeños regadíos en el entorno de la localidad de Valldemossa y Pla del Rei. Destaca el cultivo de árboles de secano (olivar, principalmente) en el entorno de las principales localidades (Esporles, Valldemossa y Deià). El mantenimiento de los muros de piedra que sostienen las “marjadas” se va abandonando con el paso del tiempo, contribuyendo enormemente a la erosión de las laderas.

En la actualidad existe una gran demanda de suelo urbanizable en la zona, especialmente en los términos municipales de Valldemossa y Deià. Antiguas “possessiones” y su entorno están siendo recuperadas para la instalación de hoteles rurales y el desarrollo de actividades ligadas con la naturaleza.



Fig.77. Pinar hasta el borde del acantilado costero. Port de Sa Pedra de S'Ase. Es Verger (Banyalbufar). Acantilado en facies Buntsandstein.



### 7.3.5. - Dinámica litoral

La costa de la zona Esporles – Deià se caracteriza principalmente por su inaccesibilidad, con acantilados muy pendientes y extremadamente activos. Tan sólo el Port des Canonge, Sa marina de Valldemossa y cala Deià representan zonas accesibles de la costa, con el desarrollo de pequeñas calas de cantos gruesos.

En el mapa nº 15 (Tomo II- Mapas) se ha representado la topografía de la plataforma marina hasta la batimétrica -50m, así como el tipo y espesor de sedimentos recientes no consolidados. Se pueden diferenciar dos tramos de costa:

- Desde Punta Es Cavall hasta S'Estaca. La costa es muy acantilada y lineal, pero los fondos marinos no presentan una pendiente muy marcada al pie de los acantilados, sino una pendiente media suave. La cota -25 m está a más de 500 m de la costa, y la de -45 m se alcanza a unos 1800 m de ésta.

La zona de batida del oleaje (estimada en la batimétrica de -25m) se caracteriza por la acumulación de grandes bloques en una franja paralela a la costa de 250m de anchura. Aparece también afloramientos rocosos en esta zona de batida del oleaje, destacando un área importante frente a la costa del Port des Canonge, donde se alcanza la batimétrica de -45 m. El resto de la zona cartografiada corresponde a fondos planos y regulares de arenas gruesas, medias y finas, la mayor parte de ellas de naturaleza no bioclástica. Respecto al espesor de sedimentos recientes no consolidados, destaca el extremo más occidental de la cartografía (entre Es Cavall y Es Port Des Canonge) con isopacas de hasta 11m de arenas finas, medias y gravas con abundancia de restos de conchas. Esta área presenta el aspecto de una cubeta de relleno, probablemente un paleocauce, de dirección NO –SE (perpendicular a las alineaciones estructurales en superficie). Se trata de una zona al abrigo de las corrientes inducidas por el oleaje, ya que se produce sedimentación muy cerca de la costa, dentro de la supuesta zona de batida del oleaje.

- Desde S'Estaca hasta Es Canyaret. Costa muy acantilada, poco recortada, donde destacan la Punta de Sa Foradada y Punta de Deià. Los fondos por lo general presentan una pendiente muy marcada hasta la cota -25m, situándose ésta a escasos 70 m del pie de los acantilados en algunos puntos. A partir de la cota -25m, los fondos son más planos y regulares. Morfológica y litológicamente hay que distinguir la franja más cercana a tierra (zona de batida del oleaje), constituida por la acumulación de grandes bloques al pie de los acantilados y por afloramientos rocosos con una morfología muy irregular. Por otro lado, aparecen los fondos arenosos, alejados de la costa y con una morfología menos pendiente y regular, en ocasiones con praderas vegetales de *Posidonia oceanica*.

En relación al espesor de sedimentos no consolidados, se observan dos áreas de mayor acumulación: al NE de Sa Foradada, con isopacas de hasta 13m de arenas medias y finas con abundantes restos de conchas (sondeo B-162), y que corresponde a un área resguardada entre dos salientes de la costa (Sa Foradada y Punta Deià); y al Oeste de Sa Foradada, con espesores de acumulación de sedimentos gruesos superiores a los 9m, que como en el caso anterior se trata de una zona resguardada de la costa, limitada al E por la Punta de Sa Foradada. Este saliente actúa de freno a las corrientes litorales que barren la costa, especialmente las corrientes de longshore que vergen hacia el SO.



El mapa del litoral de la zona Esporles – Deià denota una sedimentación muy relacionada con la dinámica de acantilados y la morfología de la costa. La existencia de salientes (Sa Foradada y Punta Deià) condiciona la acumulación de sedimentos al abrigo de las corrientes litorales. El aporte de sedimentos al litoral procedentes de los torrentes es poco significativo en relación al aportado por la erosión litoral de los acantilados.

#### **7.4. – ZONA SÓLLER**

Comprende un área aproximada de 160 Km<sup>2</sup>, que incluye el término municipal de Sóller, el término municipal de Fornalutx y el extremo meridional del término municipal de Escorça, así como el tramo de plataforma marina correspondiente hasta la batimétrica – 50 m. El núcleo de población más importante de la zona es Sóller, con una población permanente cercana a los 11,000 habitantes, y un importante núcleo turístico en la franja costera de la Bahía de Sóller. Fornalutx constituye una pequeña localidad de 507 habitantes al NE de Sóller, y el extremo NE de la zona está prácticamente despoblado por la rudeza del relieve. La carretera C-710 une las diferentes localidades, atravesando este tramo de sierra de Oeste a Este. Cabe destacar también la C-711 que une Palma con la Bahía de Sóller, atravesando la divisoria de aguas de la Serra de alfàbia (Coll de Sóller)

El valle de Sóller ha sido durante siglos una de las zonas más aisladas de la isla, ya que la Serra de Alfàbia constituía una barrera física de más de 1000 m de altura, y las comunicaciones se hacían fundamentalmente por vía marítima o a través del ferrocarril de principios del Siglo XX. La apertura del túnel de Sóller en el año 1998, que atraviesa esta barrera montañosa, ha supuesto un relanzamiento de la zona desde el punto de vista turístico. La demanda de suelo para uso urbano está creciendo considerablemente, proliferando las construcciones por todo el término municipal, incluso en zonas tan inaccesibles como los acantilados costeros que bordean el Port de Sóller.

##### **7.4.1. - Geología. Mapas geológico y litológico – geotécnico**

Según el modelo estructural de la Serra de Tramuntana definido por GELABERT (1998), la Unidad I aflora únicamente en la franja más litoral, desde Deià hasta el Port de Sóller. El resto de la zona pertenece al sector septentrional de la Unidad II, limitado al sur por la falla de Esporles. Desde el punto de vista estratigráfico, el sector septentrional de la Unidad II se caracteriza por afloramientos masivos de materiales del Rethiense y Lías. La orientación general de los pliegues y cabalgamientos es NE-SO. Los que se apartan de esta orientación se consideran rampas laterales u oblicuas. El nivel de despegue de los cabalgamientos generalmente es el Keuper (localmente puede incluir fragmentos del Muschelkalk). Los cabalgamientos se pueden seguir a lo largo de varios kilómetros y delimitan diversa láminas o subunidades cabalgantes. GELABERT (1998) define la subunidad de Lluc, que aflora a partir del Port de Sóller hacia el NE en la franja más litoral, y la subunidad de Escorça que comprende el resto de la zona, donde se enmarcarían los relieves de la Serra de Alfàbia y las Serres de Cúber y Torrelles (véase Fig.19, pág.36).



Desde el punto de vista estratigráfico, los materiales más antiguos que afloran en la zona corresponden al Muschelkalk, margas con niveles dolomíticos principalmente, con escasa representatividad ya que se limitan a pequeños afloramientos asociados a las zonas de despegue de los cabalgamientos. Las facies del Keuper: lutitas, areniscas, yesos y rocas volcánicas, tienen una gran importancia en la zona, ya que constituyen el sustrato geológico del valle de Sóller y aparecen extensos afloramientos asociados a los principales mantos de cabalgamiento que estructuran la zona.

Como se ha comentado anteriormente, la principal característica geológica de la zona de Sóller es el predominio de afloramientos masivos de materiales del Rethiense y principalmente del Lías. Esta zona puede definirse como la “zona del karst”, debido a los extensos afloramientos de brechas calcáreas, calizas y dolomías del Lías, que van a determinar este tipo de modelado. Si se observa el mapa geológico de la zona (nº17, Tomo II - Mapas), los afloramientos de estos materiales carbonatados liásicos representan cerca del 60% de la superficie total de la misma.

En las cimas de la Serra de Alfàbia (asociado a las estructuras sinclinales de Cúber – Alfàbia) afloran los materiales blandos del Dogger y Malm: calizas con sílex, calizas nodulosas y margocalizas, que dan lugar a valles y zonas deprimidas en las cumbres. En el Puig de L’Ofre se encuentra el único afloramiento de materiales oligocenos del conjunto de las tres zonas de estudio. Se trata de conglomerados calcáreos masivos sobre los que se cabalgan calizas liásicas.

Los materiales sintectónicos del Burdigaliense – Langhiense son poco representativos en la zona, localizados en franjas de varios kilómetros de extensión en los frentes de algunos mantos de cabalgamiento.

Los depósitos cuaternarios alcanzan gran desarrollo en el ámbito de la zona. Destacan los depósitos coluviales holocenos que corresponden a conos de deyección de torrentes y derrubios de ladera que bordean todo el valle de Sóller, Biniarroix y Fornalutx. Se trata de gravas y bloques de calizas y dolomías principalmente, con proporción variable de matriz limo – arcillosa y niveles cementados. Estos materiales no consolidados, superpuestos a los materiales blandos del Keuper, condicionan una elevada susceptibilidad a los movimientos de ladera. Cabe destacar igualmente los depósitos recientes de origen eluvial y aluvial que tapizan el fondo de algunos valles, tal es el caso del Valle de Sóller, que constituye la zona agrícola más extensa de la Serra de Tramuntana. Las arcillas de descalcificación (terra rossa) cubren el fondo de algunas depresiones kársticas de la zona, destacando las de Montcaire y Son Llampalles.

En el mapa nº18 (Tomo II – Mapas), se representa la cartografía litológica – geotécnica de la zona de Sóller. Se observa un claro predominio de rocas moderadamente duras y duras, con valores de resistencia a compresión simple superiores a 100 MPa, que corresponden fundamentalmente a las rocas carbonatadas liásicas. Es importante resaltar los extensos afloramientos en el Valle de Sóller de suelos muy blandos y extremadamente blandos, que corresponden tanto a los materiales muy alterados del Keuper, como a los suelos eluviales cuaternarios. Los sedimentos coluviales recientes que tapizan las laderas que bordean el Valle de Sóller presentan comportamiento de suelos, con valores de resistencia a compresión simple inferiores a



10 MPa. No obstante, pueden presentar resistencias algo mayores en función de la proporción de arcilla en la matriz del sedimento y el grado de cementación de ésta. Los afloramientos del Rethiense y Muschelkalk presentan comportamientos de rocas blandas – moderadamente duras, debido al carácter margoso de los materiales. Los materiales margocalizos del Dogger – Malm se caracterizan como rocas blandas, con valores de resistencia a compresión simple ligeramente superiores a 10 MPa.

#### **7.4.2. – Hidrogeología. Mapa de permeabilidades**

Para hacer el cálculo de la pluviometría media anual de la zona se han utilizado las series de datos existentes de las siguientes estaciones meteorológicas (Centro Meteorológico de Baleares): B051 – Far de Sa Creu, B075 – Far Punta Grossa, B058 – Biniaraix, B061 – Sóller, B062 – Sóller Sa Vinyasa, B069 - Can Roc. Los valores de precipitaciones medias anuales aumentan desde la costa (600 mm) hacia las cumbres (>1200mm) y a medida que nos desplazamos hacia el NE. La precipitación media anual estimada para la zona es de 1000 mm, similar a la que se registra en la localidad de Sóller.

Respecto a la hidrogeología de la zona, se pueden diferenciar dos tipos de acuíferos:

- Acuífero detrítico del Valle de Sóller. Corresponde a los sedimentos cuaternarios que tapizan el valle. Los pozos que explotan el citado acuífero presentan caudales en torno a los 10 l/s (ITGE, 1997) y se caracterizan por un elevado contenido en sulfatos, ya que el sustrato impermeable está formado por los materiales del Keuper. En el mapa nº 19 (Tomo II – Mapas) de permeabilidades de la zona, se han representado las isopiezas de este acuífero cuaternario, del que se aprovechan unos 2 hm<sup>3</sup>/año para regadío. Desde hace algunas décadas se detecta una salinización por intrusión marina en el acuífero.
- Acuíferos kársticos. Teniendo en cuenta el predominio de afloramientos de rocas carbonatadas liásicas, éstos van a ser los principales acuíferos de la zona. Si se observa el mapa nº 19 (Tomo II – Mapas) de permeabilidades, existen diversos acuíferos kársticos de gran extensión, siendo los más representativos los siguientes:
  - Acuífero de las “Fuentes de Sóller”. Corresponde al conjunto calizo – dolomítico de la Serra de Alfàbia, con 46 Km<sup>2</sup> de afloramiento de materiales permeables. Este acuífero es drenado por un conjunto importante de fuentes en el contacto con el Triás margoso. Destacan la Fuente de S’Olla y Lladronera (nºs 95 y 93 del inventario respectivamente, mapa 19, Tomo II – Mapas) que presentan una curva de agotamiento muy rápida, pasando de caudales superiores a 1500 l/s en los días lluviosos a caudales inferiores a 15 l/s durante los meses del verano (ITGE, 1994). Existe otro conjunto de fuentes a cotas más altas que drenan pequeños acuíferos colgados dentro del conjunto carbonatado, destacando por su caudal la Font de Sa Gineta (nº 94, mapa 19, Tomo II – Mapas) y Can Redó (nº 96, mapa 19, Tomo II - Mapas). Los valores de Transmisividad estimados para este acuífero kárstico varían entre 200 – 2000 m<sup>2</sup>/día. La velocidad de infiltración vertical es muy elevada en la zona no saturada, de varios centenares de metros al día (I.T.G.E., 1994).

- **Acuífero de Son Torella – Montcaire.** Corresponde al conjunto de relieves carbonatados al NE de la zona, que incluye la vertiente litoral de la Serra de Son Torrella y el gran conjunto kárstico de Montcaire y Torrent de Na Mora. La superficie de afloramientos carbonatados se estima en 20 Km<sup>2</sup>. El manantial de Sa Costera drena parte de este gran acuífero kárstico, con un área de captación estimada de 10,6 Km<sup>2</sup> (CARDOSO, 1997). Este manantial constituye una surgencia kárstica situada a 15 m de cota, que descarga directamente al mar desde una escarpada ladera movilizada. Se estima un caudal medio para este manantial de 10,4 hm<sup>3</sup>/año (S.G.O.P., 1995).
- **Acuífero de Fornalutx.** Corresponde a los afloramientos carbonatados situados al NE de Fornalutx (5 Km<sup>2</sup>), y que constituyen la vertiente SO de los relieves de Montcaire (Sa Bassa, Cocons Plans, Puig de Sa Bulguera). El conjunto es drenado por un grupo de fuentes en el contacto con los materiales de menor permeabilidad del Rethiense, destacando las fuentes de Sa Alquería (nº 10, mapa 19, Tomo II-Mapas), Viçens (nº11, mapa 19, Tomo II –Mapas), Son Mas (nº 12, mapa 19, Tomo II – Mapas) y Figuerall (nº14, mapa 19, Tomo II –Mapas).

Existen también un pequeño grupo de fuentes que drenan los materiales recientes coluviales de las laderas de Fornalutx (nº 1 y 16, mapa 19, Tomo II –Mapas) y de Biniaraix (nº 9, mapa 19, Tomo II –Mapas), así como algunas fuentes situadas al pie de masas deslizadas, destacando la Font de Capelleta (nº22, mapa 19, Tomo II –Mapas) y Sa Font Rotja (nº 23, mapa 19, Tomo II –Mapas).

En el Cuadro 31 se recogen los principales datos de las fuentes y manantiales inventariados en la zona, destacando por su caudal la Font de Sa Costera, cuyo aprovechamiento para el abastecimiento de la Ciudad de Palma está previsto en los próximos años.

Toponimia / t.m	Nº Inventario	Naturaleza	Caudal aforado. m <sup>3</sup> /h
Sa Lladronera. Sóller	93	Manantial –galería	50
Gineta. Sóller	94	Fuente	13
S'Olla. Sóller	95	Manantial – galería	46,8
C'an Redó. Sóller	96	Manantial – galería	30
Font d'en Joy. Sóller	97	Manantial	5,4
Sa Vinyasa. Sóller	98	Manantial – galería	3,8
Font de Suet. Sóller	99	Manantial – galería	25,2
Mare de Deu. Sóller	01	Manantial	7,2
Can Lau. Sóller	18	Fuente	0,9
Moncaire. Sóller	19	Fuente	0,6
Sa Alquería. Fornalutx	10	Fuente	12,00
Font Vicenç. Fornalutx	11	Manantial – galería	12,00
Font des Mas. Fornalutx	12	Fuente	3,00
Font des Figuerall Fornalutx	14	Fuente	6,4
Font de Salome. Fornalutx	20		3,0
Capelleta. Fornalutx	22		4,0
Font Rotja. Fornalutx	23		7,0
Sa Costera. Escorça	24	Manantial – galería	

Cuadro 31. Relación de fuentes y manantiales en la zona de Sóller.



### 7.4.3. - Geomorfología. Mapas de pendientes y morfogenético

El Valle de Sóller se encuentra encajado entre montañas, destacando la Serra de Alfàbia al SE, cuyos picos más altos superan los 1000 m de altura: Alfàbia (1067 m) y L'Ofre (1097 m). El extremo más septentrional de la zona (Son Torrella, Moncaire, Sa Costera) destaca por su abrupta orografía, con elevados acantilados marinos que ofrecen desniveles de hasta 600 m en el área de Sa Costera. Los relieves de Son Torrella son coronados por el pico más alto de la isla, el Puig Major (1447 m).

El análisis hipsométrico de la zona revela que el 11% de la superficie se encuentra a cotas superiores a los 800 m, el 40% de la misma a cotas comprendidas entre los 200 m – 600 m y el 32% de la superficie a cotas inferiores a los 200 m, ésta última corresponde principalmente al Valle de Sóller. En la Fig.78, se representa la curva hipsométrica de la zona, situando en el eje de abscisas la superficie acumulada. La curva refleja un perfil cóncavo hasta la cota de 600 m, a partir de la cual se produce un cambio a un perfil convexo (conos de derrubios), que posteriormente permanece casi rectilíneo hasta la cota cero. Se observan dos cambios de pendiente: el primero de ellos, más brusco, a la cota de 800 m; y el segundo, más suave y gradual, a la cota de 400m.

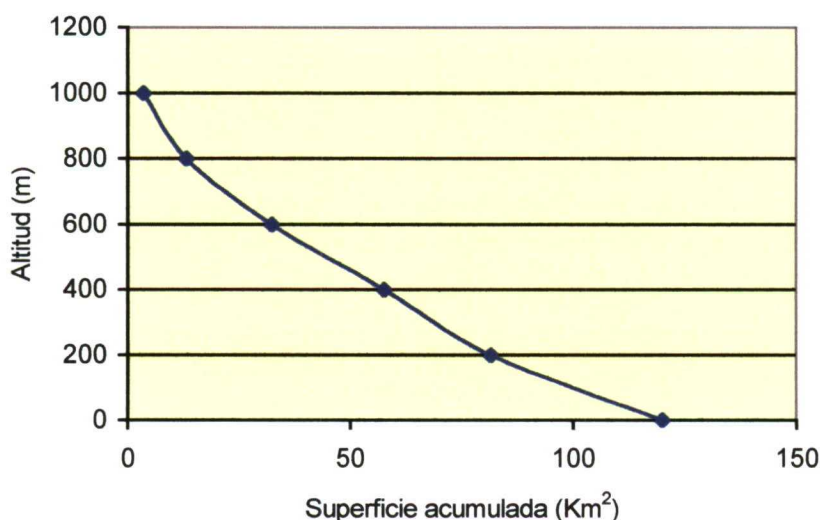


Fig. 78. Curva hipsométrica de la zona de Sóller

El mapa nº 20 (Tomo II, Mapas) representa el mapa de pendientes de la zona, considerando los cinco intervalos de pendientes definidos para este trabajo. En la Fig.79 se representa la relación entre las pendientes y la superficie de la zona dentro de cada rango establecido. Se observa que aproximadamente el 75% de la superficie presenta pendientes comprendidas entre los 10° -35°, y un 15% de la superficie ofrece pendientes superiores a los 35°.

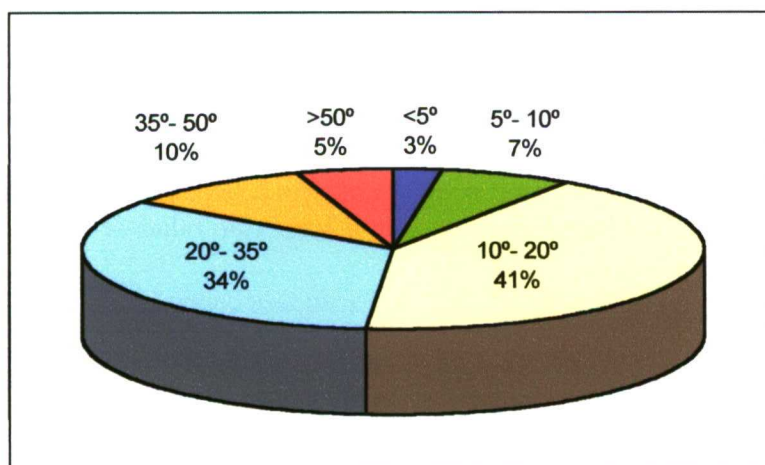


Fig. 79. Relación superficie – pendientes en la zona de Sóller.

En el mapa nº 21 (Tomo II – Mapas) se representa la cartografía morfogenética de la zona de Sóller, destacando aquellas morfologías más relacionadas con los procesos gravitacionales. La zona se caracteriza por un relieve muy accidentado, predominando las alineaciones montañosas de dirección NE-SO, que dan lugar a la Serra de Alfàbia y Son Torrella. Los materiales rocosos carbonatados presentan un modelado de formas estructurales condicionado por la tectónica de imbricación que afecta a toda la Serra Norte. Las formas con expresión morfológica mejor representadas son los escarpes subverticales asociados a los frentes de cabalgamiento y fallas normales, que dan lugar a frentes de caída de rocas. Estos escarpes pueden estar también asociados a cambios litológicos, preferentemente en los contactos entre el Lías y el Rethiense.

Los procesos gravitacionales son de gran importancia en la zona. En los materiales blandos del Keuper y depósitos cuaternarios, se originan deslizamientos rotacionales con flujos asociados cuando el contenido en arcilla es elevado. Son zonas muy susceptibles a este tipo de deslizamientos las laderas de depósitos coluviales sobre las arcillas del Keuper. Estas últimas, al ser impermeables, actúan como nivel lubricante, y el contacto entre ambos tipos de materiales suele constituir el plano de deslizamiento. Este hecho ha ocurrido en numerosas ocasiones en las laderas que rodean la localidad de Fornalutx (Corte VIII, Fig. 84). Los deslizamientos en roca de tipo rotacional son los procesos gravitacionales de mayor envergadura en la zona, condicionando enormemente el modelado actual. Estos deslizamientos, generalmente antiguos, afectan principalmente a los materiales carbonatados liásicos, y han dado lugar a los impresionantes escarpes de la Sierra de Alfàbia y Son Torrella (Corte VII, Fig. 84). Esta tipología de movimientos se produce también en el litoral, destacando los deslizamientos de Balitx (Corte X., Fig. 96, véase Apartado 8.3) y Sa Costera, dando lugar a entrantes semicirculares en la costa. Los frentes de caída de rocas están asociados generalmente a estructuras tectónicas o cambios litológicos, como se ha comentado anteriormente, en cuya base se producen potentes depósitos de acumulación de bloques (canchales), especialmente en los frentes de la Sierra de Alfàbia y Son Torrella. En el Corte VII, se ha realizado un corte geológico – geomorfológico desde los relieves más elevados de la Serra de Alfàbia hasta la llanura del Valle de Sóller, donde se observa que el modelado actual está estrechamente relacionado con los movimientos de ladera antiguos y recientes.



La costa de la zona es muy abrupta, especialmente el tramo comprendido entre el Port de Sóller y Cala Tuent. Los acantilados, muy verticalizados, ofrecen desniveles de varios centenares de metros, resaltando la franja litoral de Sa Costera con desniveles superiores a los 500 m. La erosión marina en la base de los acantilados es muy intensa, desencadenando el continuo retroceso de éstos y la acumulación de grandes bloques en la base, lo cual condiciona en mayor medida la inaccesibilidad de este tramo litoral.

En relación a la red hidrográfica, destacan tres cuencas de drenaje principales:

- Cuenca de Sóller. Superficie de 55 Km<sup>2</sup>. Comprende las subcuencas del Torrent de Fornalutx, Torrent de Biniaraix, Torrent de Sa Coma y Torrent del Coll de Sóller, que confluyen a la entrada de la localidad de Sóller, tomando el nombre de Torrent Major. Aguas abajo del torrent Major, en el margen izquierdo, drenan sus aguas tres pequeñas subcuencas, destacando la correspondiente al Torrent de Cinc Ponts. Los torrentes de Biniaraix y Sa Coma nacen en los relieves de la Serra de Alfàbia, formando escarpados barrancos, cuyas paredes constituyen frentes de caída de rocas o cicatrices de deslizamientos antiguos en roca. El Barranco de Biniaraix, muy frecuentado por los excursionistas, combina un origen gravitacional con un modelado exokárstico que condiciona el estrecho y profundo cañón. El gradiente de estos torrentes en cabecera es muy elevado, predominando claramente los procesos erosivos. El torrente de Fornalutx nace en la zona conocida como Montnàber y, después de formar un estrecho cañón kárstico, se abre al valle de Fornalutx dando lugar a un conjunto de conos de deyección y potentes depósitos de derrubios de ladera.  
El Valle de Sóller es un amplio valle de dirección SE-NO, de acuerdo con las directrices impuestas por la estructura geológica (alineaciones estructurales SW-NE), y se desarrolla a favor de los afloramientos de materiales blandos del Keuper y Muschelkalk. El carácter impermeable de este sustrato ha condicionado numerosas inundaciones históricas por el desbordamiento del Torrent Major a su paso por la localidad. Durante las inundaciones de octubre de 1978, se registró un caudal instantáneo de avenida de 70 m<sup>3</sup>/s en el Torrent Major (GRIMALT, 1992).
- Cuenca del Torrent de Na Mora. Superficie de 26 Km<sup>2</sup>. El torrente nace en los relieves meridionales de la zona de Montcaire, y se caracteriza por su fuerte encajamiento al atravesar los materiales calcáreos del Lías. Forma dos cañones kársticos principales: el correspondiente a la zona conocida como “Cova des Contrabando”, y la zona de desembocadura conocida como “Es Mal Pas” (el mal paso), con paredes muy verticalizadas de más de 100 m de altura. El drenaje de la cuenca se produce hacia el NO, de forma perpendicular a las principales estructuras geológicas del área.
- Cuenca del Torrent de Sa Coma. Superficie de 25 Km<sup>2</sup>. Representa una cuenca subsidiaria de la correspondiente al Torrent des Gorg des Diners, que se ha establecido como el límite septentrional de la zona de estudio. En cabecera, este torrente presenta menor gradiente ya que atraviesa los materiales blandos del Keuper; mientras que en su tramo final, donde drena las aguas al Torrent des Gorg des Diners, presenta un fuerte encajamiento en los materiales carbonatados liásicos, formando un profundo cañón kárstico. El drenaje de esta cuenca se produce hacia el N, muy condicionado por la estructura geológica del área, cuyas principales alineaciones tienen dirección E-O.



En general puede afirmarse que la red superficial de drenaje es posterior a los grandes deslizamientos rotacionales que afectan a los macizos rocosos. La red de drenaje de la cuenca de Sóller se adapta a los escarpes rocosos que configuran estos deslizamientos en el margen meridional de las Sierras de Alfàbia y Son Torrella. Este hecho es evidente en el gran deslizamiento que delimita el área de Sa Costera. No obstante, deslizamientos más recientes han modificado levemente el curso de algunos torrentes. Tal es el caso del torrente del Coll de Sóller, que sufre una inflexión hacia el SE al entrar en el valle de Sóller debido a la ocurrencia de un gran deslizamiento en su margen izquierdo. Este hecho puede venir provocado también por el avance de conos de derrubios asociados a frentes montañosos.

Desde el punto de vista geomorfológico, esta zona se ha diferenciado del resto por el predominio de los procesos y morfologías kársticas que afectan a grandes extensiones de macizos rocosos carbonatados, fundamentalmente de edad liásica; aunque cabe resaltar estos mismos procesos en las brechas calcáreas de la Unidad turbidítica basal del Mioceno inferior. Destaca la mitad septentrional de la zona, donde afloran los macizos carbonatados de Montcaire, Bàltx y Sa Costera, así como el margen oriental de la Serra des Boixos, en el extremo meridional de la zona de estudio. El modelado exocárstico se caracteriza por el amplio desarrollo de lapiaces, localmente conocidos como “esquetjars o rellars”, destacando el correspondiente a la zona de Montcaire. También son frecuentes las depresiones kársticas, de mayor o menor tamaño, que constituyen pequeñas cuencas endorreicas. Se trata de dolinas poco profundas y con numerosos sumideros, destacando en la zona las correspondientes a la Muntanya de Montcaire y las de Bini Petit. En relación a las grandes depresiones kársticas, GINÉS & GINÉS (1995) identifican la “Coma de Son Torrella- Pla de ses Solanes” como un polje de 0,4 Km<sup>2</sup> de extensión, de fondo plano y drenaje subterráneo (conectado hidrogeológicamente con la Font des Verger) y limitado por escarpes rocosos que contienen profundas cavidades. El modelado kárstico de estas áreas condiciona un drenaje fundamentalmente subterráneo, por la elevada permeabilidad por fisuración y/o karstificación del terreno, observándose numerosas simas y sumideros en superficie por donde se infiltra el agua de precipitación. Los cañones kársticos, identificados anteriormente, se caracterizan por un trazado muy rectilíneo relacionado con un fuerte control estructural (Torrent de Na Mora, Torrent de Sa Coma etc.).

#### **7.4.4. - Vegetación y usos del suelo**

En el mapa nº 22 (Tomo II – Mapas) se ha representado la vegetación y usos del suelo de la zona de Sóller. En la llanura del Valle de Sóller aparece el área de regadío más extensa de la Serra de Tramuntana. Se trata de huertos de cítricos principalmente, que han constituido la principal riqueza de esta localidad durante siglos. En las laderas de los márgenes del valle, sobre los extensos depósitos coluviales del cuaternario, se ha desarrollado el cultivo de árboles de secano (olivos, almendros y algarrobos principalmente), que se extienden hasta la cota de 500m aprovechando el aterrazamiento antrópico del terreno (màrges). El bosque de pinar es menos representativo que en las dos zonas anteriores, predominando éste en el extremo SO de la zona, Serra des Boixos y margen derecho del torrente del Coll de Sóller. El encinar está muy degradado en la



zona, quedando relegado a áreas aisladas de muy baja presión antrópica en las zonas altas de la Serra de Alfàbia. El matorral ocupa grandes extensiones, concentrándose en las zonas más elevadas de las Sierras de Alfàbia y Son Torrella, y especialmente en las áreas de lapiaces, donde el modelado kárstico impide el desarrollo de otro tipo de vegetación.

#### 7.4.5. - Dinámica litoral

El tramo de costa de la zona, que va desde Es Canyaret (SO) hasta Cala Tuent (NE), se puede dividir en tres tramos diferenciados:

- Es Canyaret – Port de Sóller. Costa muy acantilada, con pequeños salientes y entrantes que ni siquiera dan lugar a pequeñas calas. Los fondos marinos reflejan pendientes muy marcadas al pie de los acantilados, siendo el talud de costa tan pronunciado, que hay puntos donde se alcanzan los 30 m de profundidad a escasos 50 m de la costa. Morfológicamente esta zona presenta una superficie muy irregular, constituida por grandes bloques al pie de los acantilados y afloramientos rocosos, así como encostramientos adosados a los mismos. A partir de la cota –35m, aparece un fondo más regular constituido por arenas medias y finas, que en su parte más cercana a los afloramientos rocosos son de origen *no bioclásticas*, mientras que hacia zonas más externas pasan a ser *bioclásticas*. Respecto al espesor de sedimentos no consolidados, cabe resaltar espesores de hasta 9m de arenas entre las batimétricas – 40 m y –50m.
- Port de Sóller. Constituye un gran entrante cerrado de la Costa Norte. La pendiente del fondo marino en esta bahía es muy suave. Se trata de un fondo bastante regular de afloramientos rocosos, ya que la escasa pendiente condiciona una amplia zona de batida del oleaje. Aparecen dos pequeñas zonas de acumulación de arena de escasa potencia a la entrada del puerto, al refugio de las corrientes litorales.
- Port de Sóller – Cala Tuent. Aparece de nuevo un tramo de costa muy irregular con grandes acantilados y pequeños entrantes y salientes, así como algunos islotes entre los que destaca S'Illeta. Los fondos cercanos a la costa presentan una marcada pendiente de 0 a – 35 m y están constituidos por la acumulación de grandes bloques al pie de los acantilados y afloramientos rocosos con encostramientos superficiales en la franja de batida del oleaje. Hacia mar adentro, las pendientes se suavizan y la morfología del fondo es más regular, con afloramientos de arenas gruesas, finas y medias, con una mayor proporción biogénica hacia el exterior. En relación al espesor de sedimentos recientes no consolidados, es importante resaltar que las mayores zonas de acumulación se correlacionan claramente con grandes deslizamientos cartografiados en tierra. Este hecho se observa en el entorno de S'Illeta, con isopacas de sedimentos recientes de hasta 9 m, y en el entrante litoral de Sa Costera, con isopacas de hasta 15m. Por la morfología superficial de S'Illeta, todo parece indicar que se trata de un gran bloque caído a raíz del gran deslizamiento que configuró la actual ladera costera de Bàltx (Fig. 80).



Fig. 80. El islote de S'Illeta, cuyo origen parece estar relacionado con el gran deslizamiento de Bàlitàx.



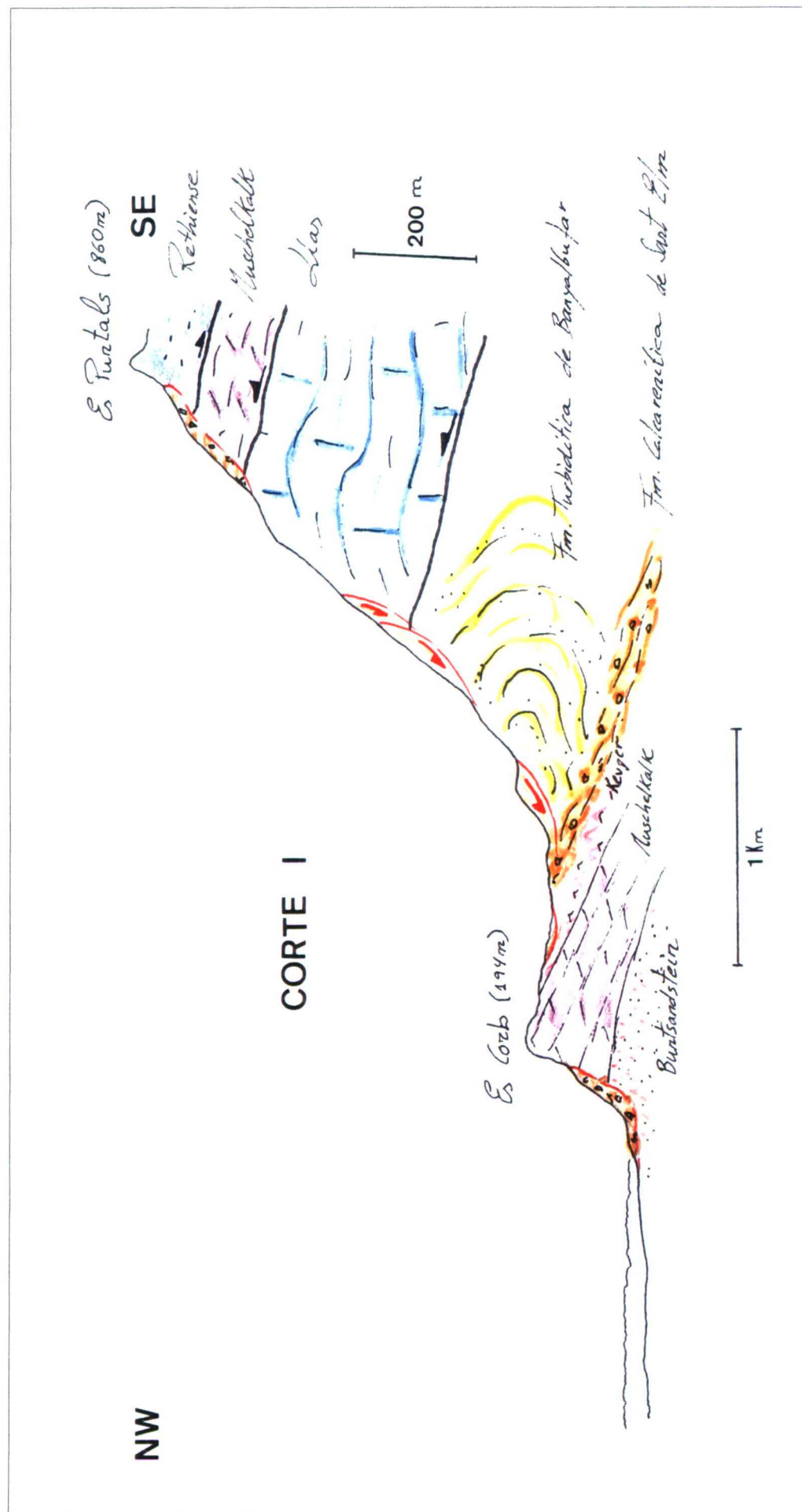


Fig. 81. Corte geológico I. Desde la Serra des Puntals hasta la costa. Cuenca de Estellencs. Zona Estellencs - Banyalbufar. Localización en mapa nº 5 (Tomo II - Mapas)

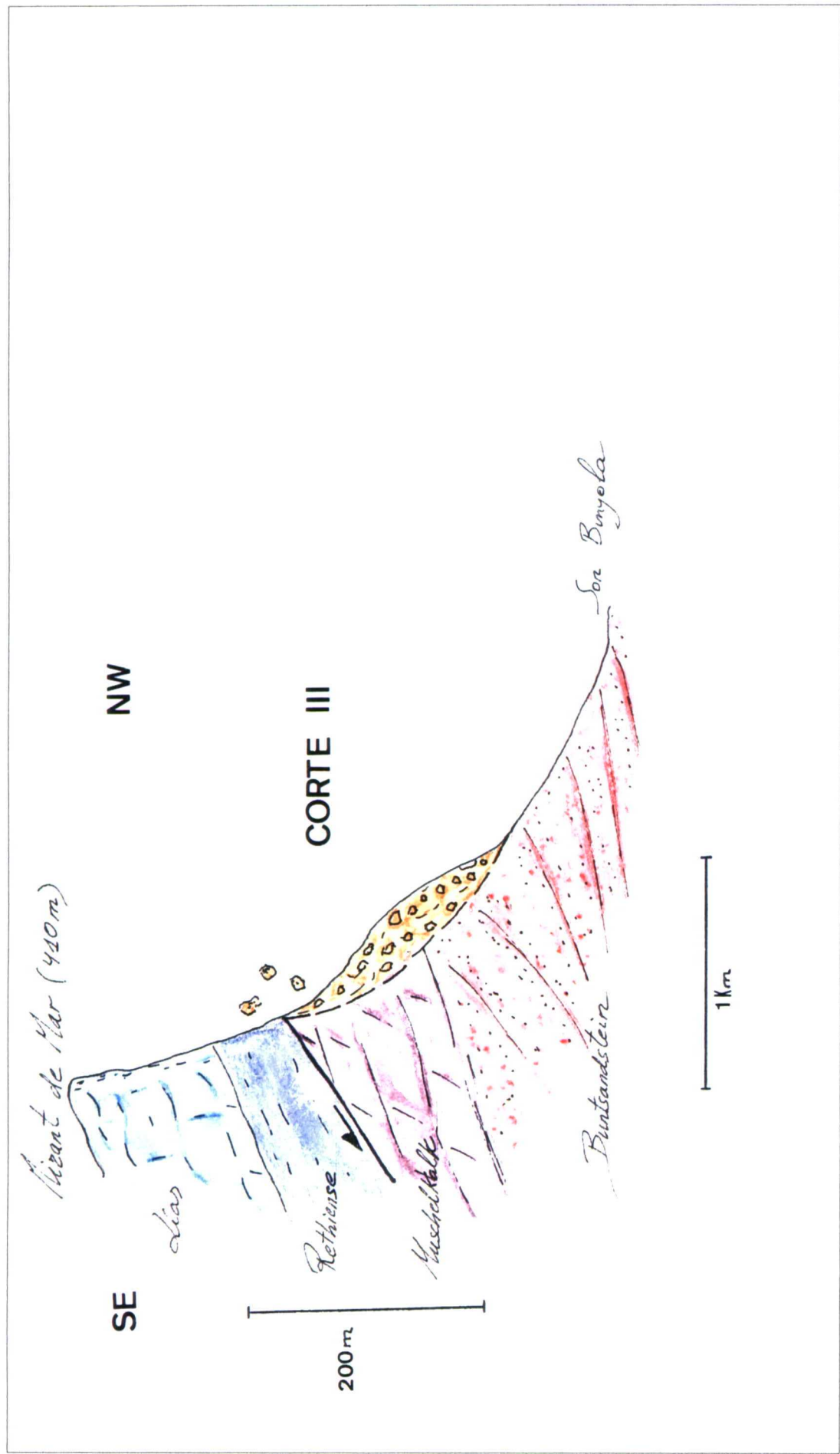


Fig. 82. Corte geológico III, Cuenca del Port des Canonge, Zona Esportles - Delia.  
Localización en mapa nº 13 (Tomo II - Mapas)



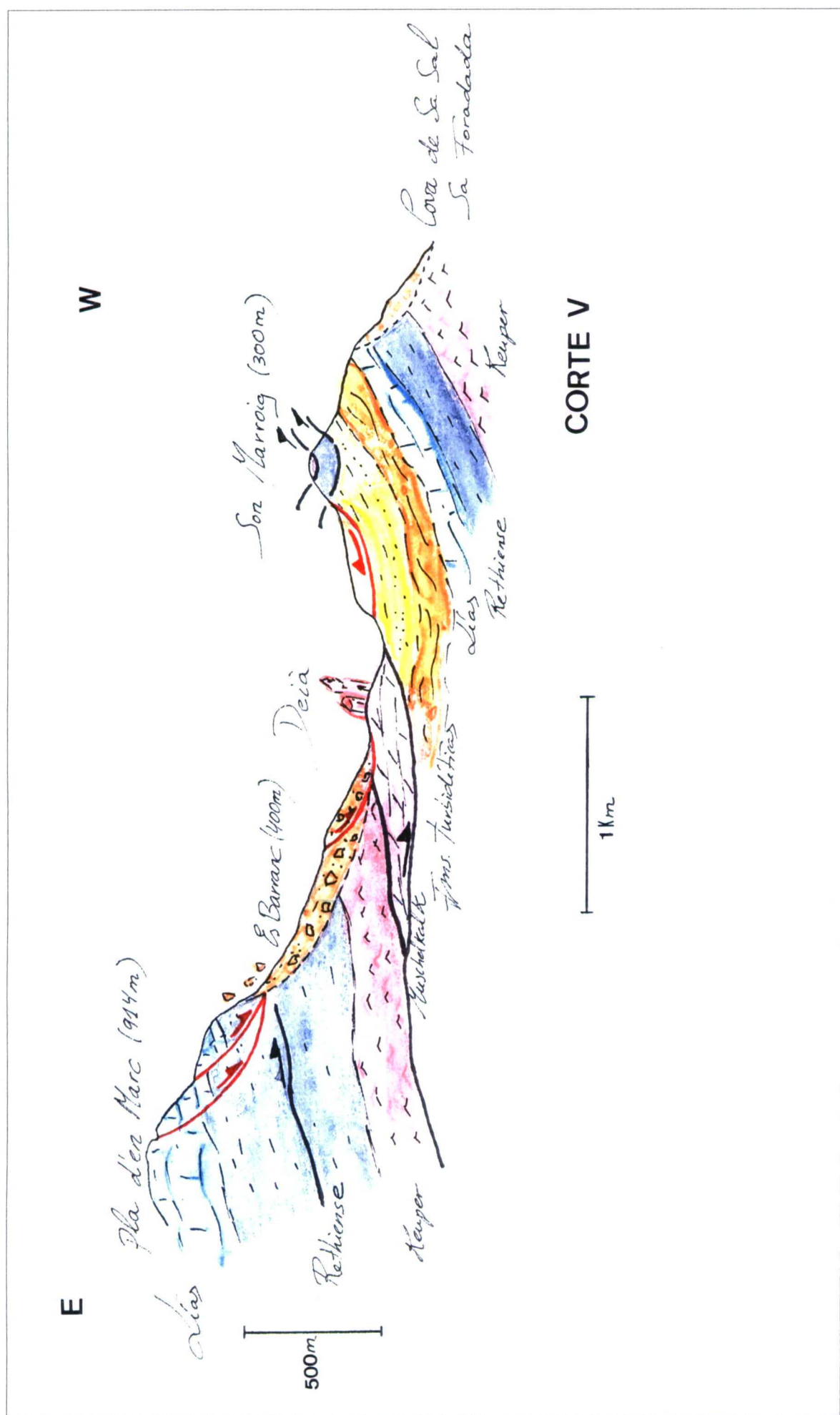


Fig. 83. Corte geológico V. Desde los altos relieves de la sierra de Calera hasta la costa, atravesando la localidad de Delia, Zona Esportes -Delia. Localización en mapa nº 13 (Tomo II - Mapas)

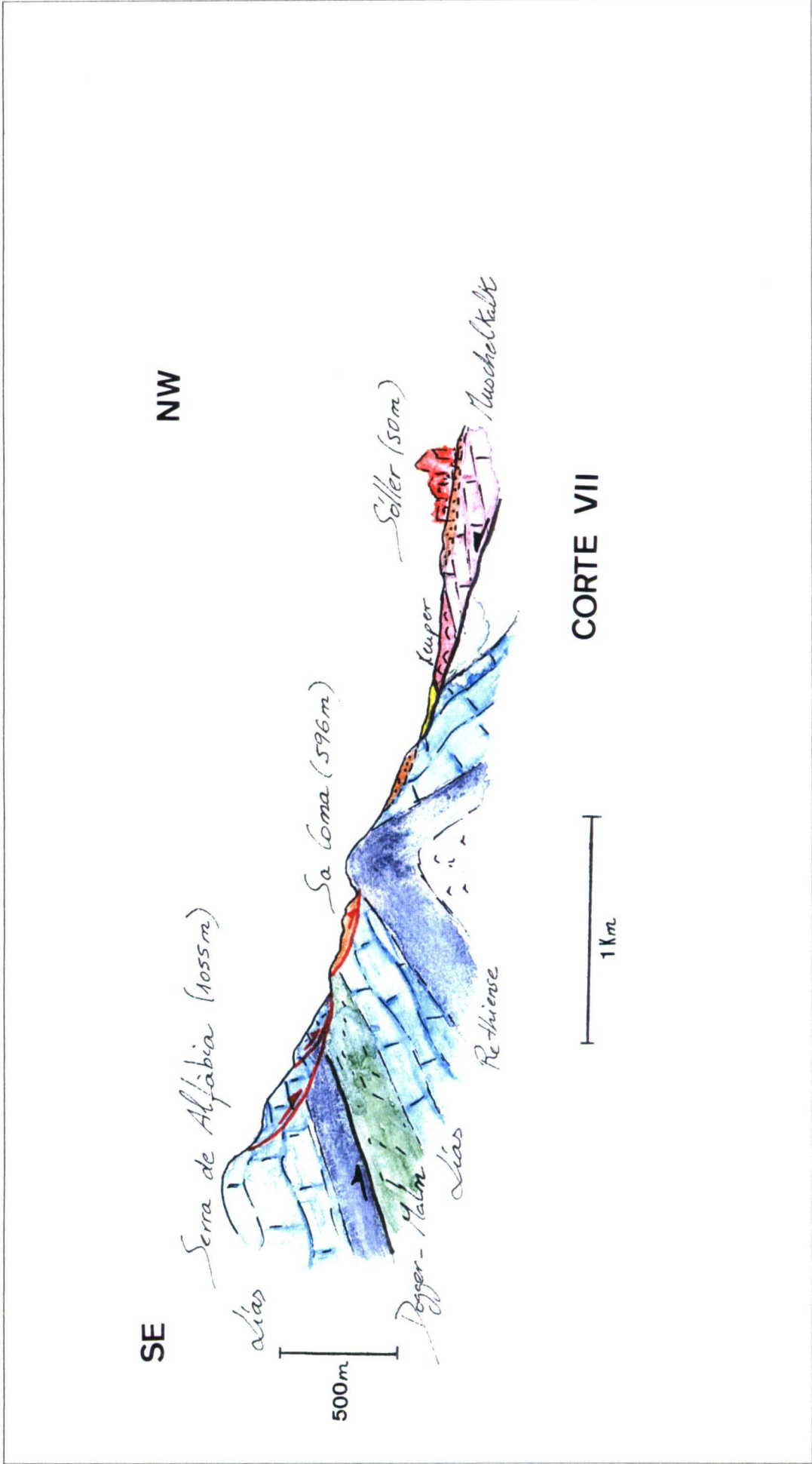


Fig. 84. Corte geológico VII. Desde los relieves de la Serra de Alfàbia hasta la localidad de Sóller. Zona Sóller. Localización en mapa nº 21 (Tomo II - Mapas)



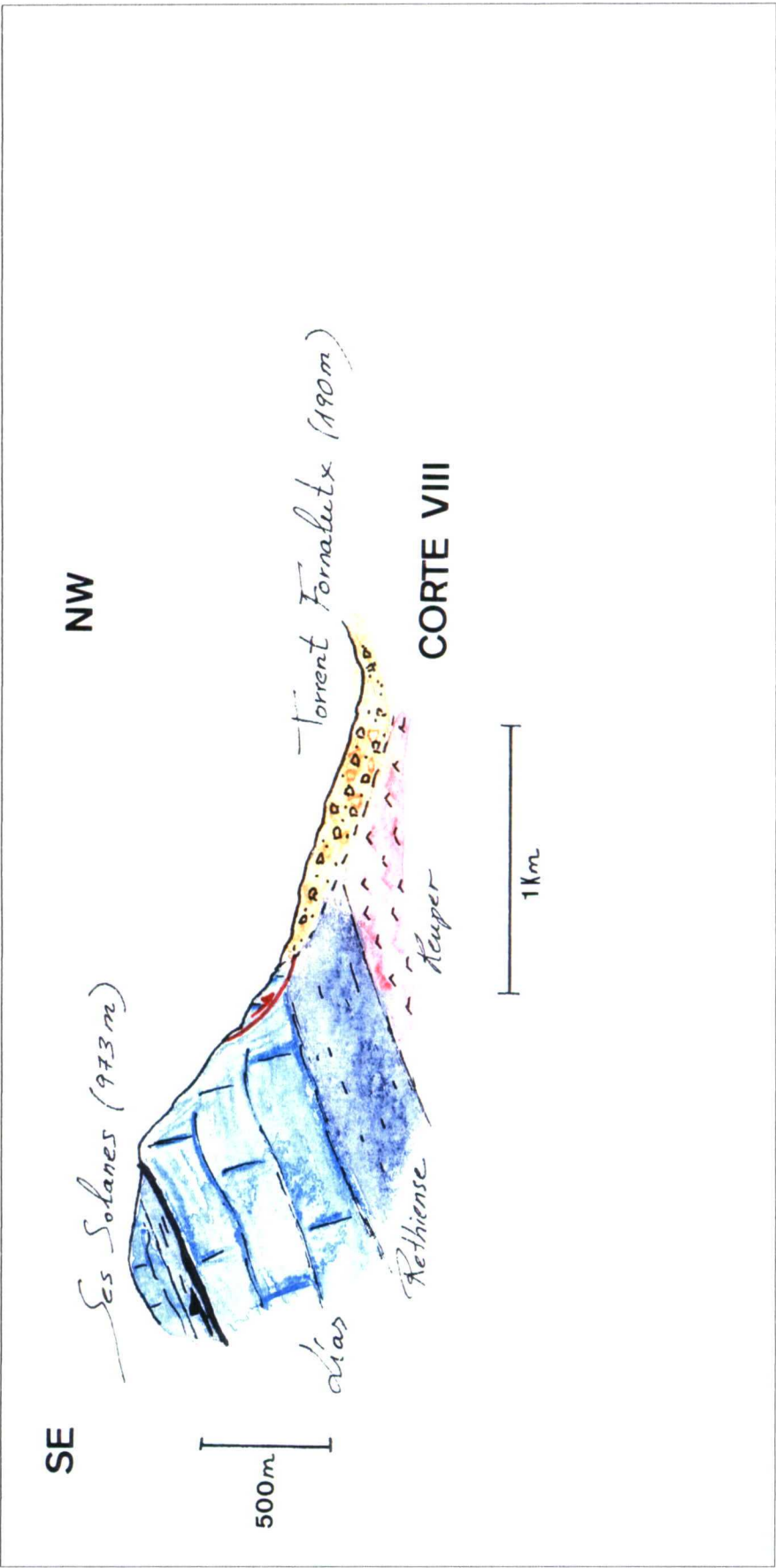


Fig. 85. Corte geológico VIII. Desde los relieves de la Serra de Torrelles hasta el valle de Fornalutx. Zona Sóller. Localización en mapa nº 21 (Tomo II - Mapas)

## Capítulo 8

# **TIPOLOGÍA DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA EN LA ZONA DE ESTUDIO**

### **8.1. - INTRODUCCIÓN**

El término *movimiento de ladera* hace referencia al movimiento, en el sentido descendente, de una vertiente o ladera, de una masa de roca, derrubio o tierra, donde la acción de la gravedad es el motor del movimiento. No se consideran movimientos de ladera los hundimientos provocados por el derrumbe de cavidades o la consolidación del terreno, así como el desplazamiento del manto nival (CRUDEN & VARNES, 1996).

La correcta identificación del tipo de movimiento de ladera que tiene o puede tener lugar es de enorme importancia. Por un lado, nos permite entender la evolución del relieve y su actual configuración; y por otro lado, la correcta estabilización de una ladera o las medidas de corrección a adoptar, dependerá en gran medida de la identificación del mecanismo de rotura, la velocidad y dimensiones del movimiento.

Las clasificaciones de los movimientos de ladera actuales se basan en criterios cinemáticos, es decir, cómo el movimiento se distribuye a lo largo de la masa desplazada una vez que la rotura ha tenido lugar. En este sentido hay que indicar que los mecanismos y condiciones que dan lugar a la rotura de una ladera no se corresponden, en general, con los que gobiernan el desplazamiento descendente de la masa movida. Por ejemplo, movimientos considerados como flujos suelen tener su origen en mecanismos de cizalla (deslizamientos), o un desprendimiento rocoso puede iniciarse tras la apertura de una grieta de tracción.

La literatura técnico-científica actual ofrece numerosas clasificaciones de los movimientos de ladera: SKEMPTON & HUTCHINSON (1969); VARNES (1978); CRUDEN & VARNES (1996) etc. La clasificación de VARNES (1978) marcó un punto de partida para posteriores clasificaciones, siendo una de las más aceptadas la correspondiente a CRUDEN & VARNES (1996), donde se enfatiza en el tipo de material afectado por el movimiento. A este respecto, el tipo de material es un criterio fundamental de todas las clasificaciones para identificar tipologías. Las recientes clasificaciones distinguen entre *sustrato rocoso*, *derrubios* y *tierra*. El concepto de sustrato rocoso es bastante claro, pero en ocasiones es difícil diferenciar *derrubios* de *tierra*, incluyéndose ambos dentro del concepto ingenieril de “suelo” a pesar de que las características sedimentológicas de ambos términos sean bien distintas. CRUDEN & VARNES (1996) consideran *derrubio* a un suelo con una proporción significativa (entre el 20 – 80%) de partículas gruesas (diámetro superior a 2 mm), mientras que *tierra* hace referencia a un suelo con una proporción superior al 80% de partículas de diámetro menor a 2 mm.



En este trabajo, se ha aplicado la clasificación de movimientos de ladera establecida por CRUDEN & VARNES (1996) basada en los mecanismos de propagación del movimiento. Ambos autores diferencian 5 tipos de movimientos diferentes: **Caidas o desprendimientos** (falls), **vuelcos** (topples), **deslizamientos** (slides), **expansiones laterales** (spreads), y **flujos** (flows).

Como se ha comentado en capítulos anteriores, se ha llevado a cabo en la zona de estudio un inventario de movimientos de ladera, recogido en el Anexo I de este trabajo. Para cada movimiento inventariado se ha realizado una ficha que, de forma esquemática, recoge la información referente a los siguientes puntos:

- Localización exacta del movimiento. Representados en los mapas morfogenéticos e inventario de movimientos de ladera de cada zona (mapas nº 5, 13, 21. Tomo II Mapas).
- Estado de actividad
- Tipo de movimiento
- Geología: litología, estructura
- Geometría del talud: orientación, altura, pendiente
- Características y geometría del movimiento: pendiente, altura, superficie afectada, profundidad del plano o superficie de rotura, volumen de material desplazado etc.
- Otras características: presencia de agua, vegetación, estado de alteración superficial del material.
- Daños materiales y afecciones
- Factor desencadenante y estimación de la peligrosidad.

El conocimiento adquirido tras la elaboración del inventario de movimientos, permite la realización del cuadro de la Figura 86, que representa una clasificación de los movimientos de ladera observados en la Serra de Tramuntana. Se han desestimado movimientos tales como extensiones laterales y vuelcos, por tener una muy baja representatividad en la zona de estudio.

No obstante, teniendo en cuenta los movimientos de ladera inventariados en campo, y los cartografiados a partir de fotografía aérea, de mayores dimensiones que los anteriores, se puede establecer una clasificación simplificada de los movimientos de ladera existentes en la Serra de Tramuntana en tres grupos principales:

- Desprendimientos o caída de rocas
- Deslizamientos rotacionales en roca
- Movimientos complejos en suelos: deslizamientos rotacionales con flujos asociados.

A continuación se analizan con detalle los tres grupos de movimientos.

# CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA EN LA SERRA DE TRAMUNTANA


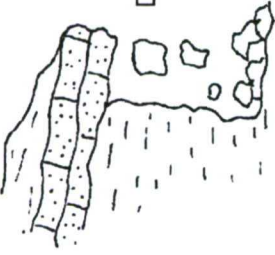
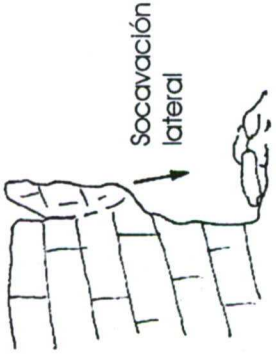

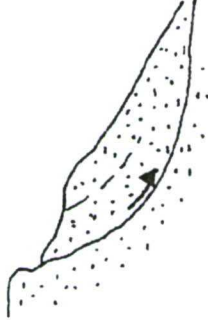
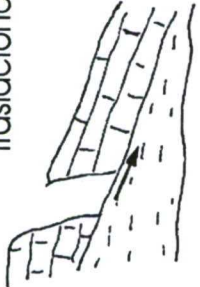
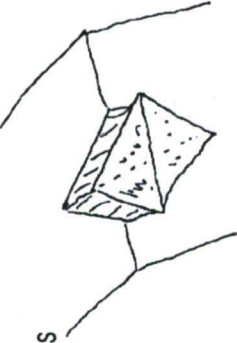
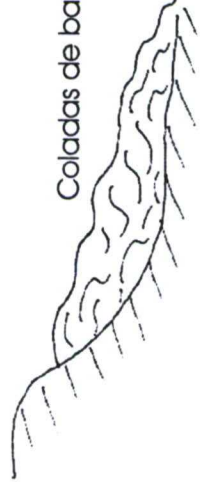


DESPRENDIMIENTOS ROCOSOS	  
DESPLAZAMIENTOS	    <p>Rotacionales</p> <p>En suelos</p> <p>Planares</p> <p>En cuña</p>
FLUJOS	  <p>Coladas de barro</p> <p>Flujos de derrubios</p>
MOVIMIENTOS COMPLEJOS	 <p>Deslizamiento rotacional con flujo asociado</p>

Fig.86. Tipologías de movimientos de ladera en la Serra de Tramuntana



## 8.2. - DESPRENDIMIENTOS O CAÍDA DE ROCAS

CRUDEN & VARNES (1996) establecen que un desprendimiento se origina con el despegue de una masa de roca de un farallón o ladera muy pendiente, a lo largo de una superficie en la cual puede o no haber desplazamiento de cizalla. Posteriormente, el material desciende principalmente a través del aire mediante *caída libre*, *rebote* o *rodadura*. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido, según la clasificación establecida a este respecto por VARNES (1978).

La forma de descenso de la masa de roca depende del ángulo del talud. Así, en paredes rocosas casi verticales (ángulos  $>76^\circ$ ) la propagación del movimiento se produce básicamente por caída libre. Por debajo de este ángulo los impactos contra el terreno por rebote son frecuentes; y en laderas con inclinaciones inferiores a  $45^\circ$  se produce el movimiento por rodadura de los bloques. No obstante, normalmente tiene lugar una transición gradual de caída libre a rebote y rodadura. Posibles accidentes morfológicos de la ladera pueden alterar esta secuencia.

### 8.2.1. – Tipos de desprendimientos rocosos

En la Figura 86, se observan los tipos de desprendimientos más comunes observados en la zona de estudio.

- a) Desprendimientos. Se trata del caso más general, donde se representa un macizo rocoso afectado por discontinuidades que independizan bloques que caen por gravedad. Este es el tipo de rotura más común en los farallones rocosos que constituyen los materiales duros del Lías. La formación de bloques susceptibles de desprenderse en un talud está directamente relacionada con las discontinuidades que afectan al macizo rocoso. El número de discontinuidades, su orientación y espaciado van a determinar la forma y el tamaño del bloque. La apertura de las discontinuidades, su rugosidad, el tipo de relleno y la presencia de agua, jugarán un papel fundamental en el “despegue” de esa masa rocosa. En el inventario de movimientos de ladera (AnexoII), se ha tenido en cuenta estos aspectos relacionados con las familias de discontinuidades que afectan a los diferentes macizos rocosos (n<sup>os</sup>: 8, 11, 17, 32, 34, 35, 36, 41, 42, 49).
- b) Desprendimientos por erosión diferencial. Esta tipología de desprendimientos se produce en taludes con alternancias litológicas de rocas blandas y duras, ofreciendo las primeras menor resistencia a la erosión y dejando los estratos duros en voladizo con tendencia al desplome. Este tipo de rotura se ha observado en algunas formaciones de la Serra que presentan este tipo de litologías alternantes. Tal es el caso de la Formación Turbidítica de Banyalbufar, con secuencias de niveles de limolitas margosas y estratos calcareníticos intercalados. En la Cala de Banyalbufar se puede observar un ejemplo de estos movimientos, donde la mayor alterabilidad de los materiales margosos deja suspendidos en el aire los niveles calcareníticos más duros (Fig. 87). Otras litologías afectadas por este tipo de desprendimientos son los estratos dolomíticos que descansan sobre niveles margosos del Muschelkalk y en algunos tramos intermedios del Rethiense, donde se producen similares alternancias litológicas. En las fichas inventario (Anexo I) n<sup>os</sup>: 8, 27, 32, 38, 39, 41, 45, se puede observar la descripción de este tipo de desprendimientos.



Desprendimientos rocosos por descalce, se pueden generar igualmente cuando se produce un proceso de karstificación en la base del talud. Este hecho es bastante común en numerosos taludes y acantilados de la zona de estudio, dado la naturaleza carbonatada de las rocas. El descalce por disolución kárstica se describe en las fichas inventario (Anexo I) números 2 y 27.

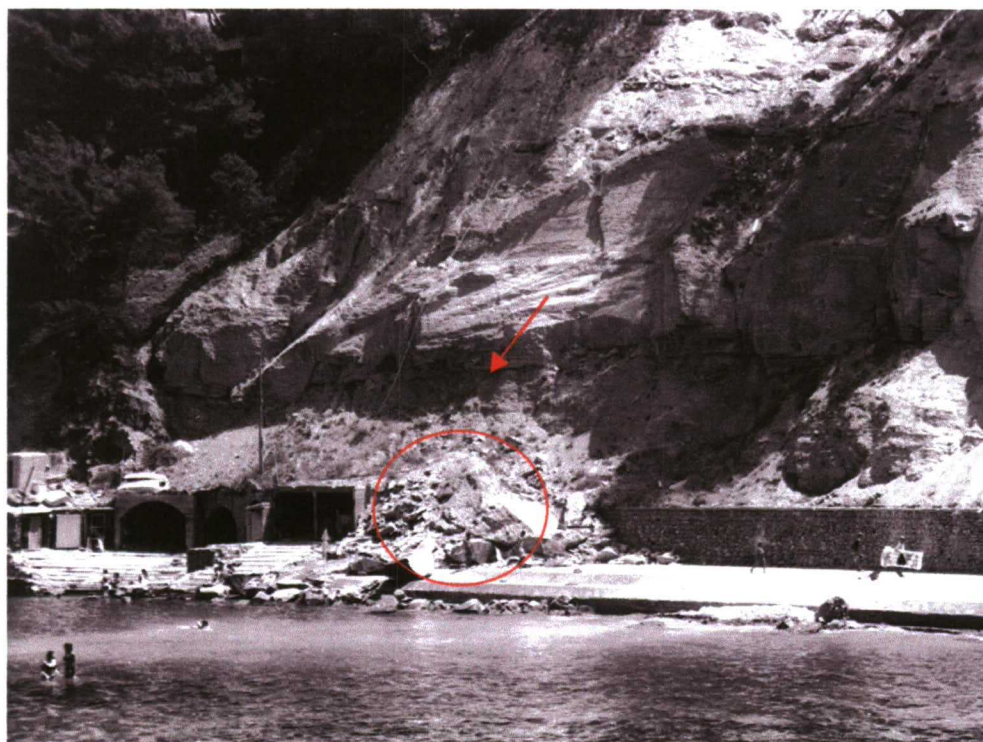


Fig. 87. Desprendimiento rocoso en la Cala de Banyalbufar por erosión diferencial y descalce

- c) Desplomes por socavación de la base. Es el tipo de movimiento más general en los acantilados rocosos. La energía del oleaje en la base del talud se traduce en un importante trabajo de socavación, descalzando éste y desencadenando un desprendimiento por desplome. El retroceso natural de los acantilados está ligado a este proceso mecánico, que será mayor en acantilados abiertos a los frentes de oleaje y de litologías blandas. Se desconocen tasas de retroceso de acantilados en el litoral objeto de estudio, aunque pueden observarse varios casos de edificios a lo largo de la costa que han quedado “colgados” en el acantilado, lo que indicaría una tasa de retroceso elevada. En las fichas inventario de los acantilados marinos (AnexoI) nºs: 8, 11,13, 14, 18, 31,32, 34,35, se analizan este tipo de movimientos. En la Fig.87 se observa el proceso de socavación en la base del talud de la Cala de Banyalbufar por la acción del oleaje, desencadenando los desprendimientos..

Los bloques desprendidos que se acumulan al pie del talud dan lugar a la formación de canchales, en ocasiones de gran extensión, tal y como se refleja en los mapas nºs: 5, 13, 21 (Tomo II- Mapas). En los relieves de la Serra de Alfàbia y Son Torella (mapa nº



21, Tomo II – Mapas) se han cartografiado canchales con una extensión superior a los 32,000 m<sup>2</sup>. En ocasiones, estos depósitos pueden a su vez experimentar roturas originando corrientes de derrubios o avalancha de rocas.

Los derrubios de ladera recientes ocupan gran extensión en la zona de estudio y tienen su origen en los desprendimientos que se producen de los frentes rocosos y la posterior acción del agua. Se trata de bloques de rocas calcáreas envueltos en una matriz fina arcillo – limosa que los sostiene. El tamaño de los bloques de estos sedimentos varía de un punto a otro, pero se han observado bloques superiores a los 15m<sup>3</sup> de volumen (Fig.88), lo cual permite estimar la envergadura de estos movimientos.

Los depósitos coluviales cuaternarios, en determinadas zonas con más de medio centenar de metros de potencia (cuenca de Sóller), sufren numerosos procesos de inestabilidad, como se comentará más adelante. Un proceso muy común en estos materiales es los desprendimientos de los bloques al lavarse o desprenderse la matriz fina que los envuelve. Estos procesos se observan en gran parte de los taludes de carretera que cortan los citados materiales (Fig. 89). Este tipo de desprendimientos se describen en las fichas de inventario (Anexo I) números: 5, 9, 14, 19, 20, 22, 34, 36, 42, 44.



Fig. 88. Derrubio de ladera. Carretera C-710. Lluch- Alcari (Deià). Obsérvese el tamaño del bloque



Fig. 89. Derrubio de ladera. Carretera C-710, Km 53,5 (Sóller).

### 8.2.2. - Condiciones de generación de desprendimientos rocosos

Los frentes de desprendimientos rocosos en la Serra de Tramuntana aparecen ligados a pendientes muy elevadas, normalmente superiores a 50°. Este hecho morfológico tiene una enorme relación con la geología de la zona.

De forma simplificada, la existencia de los frentes de desprendimientos rocosos en la zona de estudio se asocia a las siguientes condiciones geológicas y geomorfológicas:

1. Contacto normal entre los materiales carbonatados duros del Lías y los materiales más blandos del Rethiense (Fig. 90). Se origina paredes verticalizadas con alturas de decenas e incluso centenares de metros en los materiales liásicos, constituidos por brechas carbonatadas, calizas y dolomías. Los bloques desprendidos rebotan y ruedan por las laderas menos pendientes (generalmente en torno a los 35°) que conforman los materiales rethienses, de naturaleza dolomítica y margosa. Los bloques desprendidos son de tamaños muy diferentes, dependiendo del grado de fracturación que presenta el macizo rocoso. Se han llegado a identificar bloques con volúmenes superiores a 50 m<sup>3</sup>.
2. Frentes de cabalgamiento, especialmente aquellos que superponen rocas duras y moderadamente duras sobre rocas blandas y/o suelos. Estos frentes constituyen paredes de roca con una elevada ocurrencia de desprendimientos rocosos. En la superposición de los mapas geológicos ( n°s: 1, 9, 17, Tomo II –Mapas) con los morfogenéticos e inventario de movimientos de ladera (n°s: 5, 13, 21, Tomo II – Mapas) en las tres zonas definidas, se observa una clara existencia de



desprendimientos rocosos en los frentes y rampas laterales de los mantos de cabalgamiento (Fig. 91). En ocasiones se observan frentes paralelos a diferentes cotas, que corresponden a diferentes escamas cabalgantes (Serra de Alfàbia, Serra des Boixos etc.).



Fig. 90. Frente de desprendimientos rocosos en los materiales liásicos, en contacto geológico con los materiales más blandos del Rethiense. Peñas de Can Prohom (zona Sóller)



Fig. 91. Escarpe de desprendimientos rocosos asociado a un frente de cabalgamiento. Calizas liásicas cabalgando sobre los materiales neógenos de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar. Estellencs.

3. En los escarpes de fallas normales, especialmente si ponen en contacto materiales de diferente dureza. Si se observa el mapa morfogénico e inventario de movimientos de la zona Esporles- Deiá (mapa nº 13, Tomo II-Mapas), se observa una amplia franja de desprendimientos rocosos en la cuenca del Port des Canonge, asociada a una falla normal de grandes dimensiones, que pone en contacto las calizas y dolomías liásicas e infraliásicas con los materiales menos resistentes del Muschelkalk y Buntsandstein (véase Corte III, Fig. 82, Capítulo 7).
4. En los valles producidos por disolución kárstica. Estos cañones kársticos, predominantes en el margen nororiental de la zona de estudio (zona de Sóller), ofrecen paredes casi verticales de casi un centenar de metros de altura, como es el caso del Torrent de Pareis (Fig.92). La fracturación del macizo rocoso y la acción de disolución de la roca calcárea, condiciona la formación de bloques susceptibles de desprenderse. Este hecho adquiere importancia al existir una gran afluencia de excursionistas que recorren, durante todo el año, el curso de estos cañones.

En las zonas con morfologías externas de lapiaz, en pendientes medias -altas, se produce con frecuencia una importante acumulación de material rocoso suelto por el efecto de la karstificación. Este material suelto puede perder su estabilidad y generar una avalancha de rocas, en ocasiones de grandes dimensiones. En el mes de septiembre del año 1997, una avalancha de este tipo obstruyó la carretera de acceso a Sa Costera, muy frecuentada por autobuses de turistas, teniendo que ser evacuados éstos por vía marítima.

Otro proceso importante en zonas con morfologías kársticas es el desplome de antiguas cuevas que han quedado colgadas respecto al nivel piezométrico actual. En ocasiones, estas cavernas quedan expuestas parcialmente en paredes rocosas (Fig.92), pudiendo generarse desprendimientos rocosos de gran entidad.

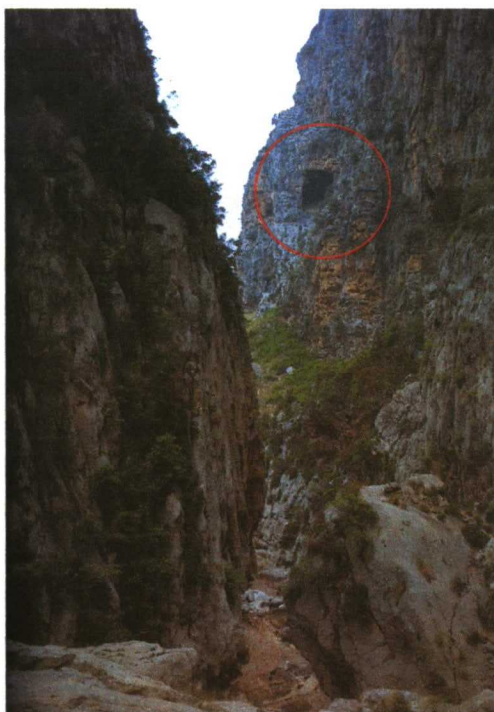


Fig.92. Torrent de Pareis (t.m Escorca, zona Sóller). Obsérvese cavidades colgadas en la pared rocosa



5. En los escarpes de cabecera de los deslizamientos rotacionales en rocas. Como se comentará en el siguiente apartado, los deslizamientos rotacionales antiguos que afectan a los macizos rocosos de la Serra de Tramuntana, presentan escarpes de cabecera muy verticales y en ocasiones de decenas de metros de altura. Estos escarpes constituyen a su vez frentes de desprendimientos rocosos cuando se independizan bloques en el talud.

### 8.3. - DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES EN ROCA

Son movimientos de ladera a lo largo de una superficie de rotura curvilínea y cóncava. El terreno experimenta un giro, según un eje imaginario situado por encima del centro de gravedad de la masa desplazada. Si la superficie de rotura es circular o cicloidal en perfil, la cinemática determina que la masa desplazada se mueva sin apenas deformación interna. La cabecera del material desplazado se mueve casi de forma vertical, mientras que la superficie superior lo hace mediante un giro contra ladera, originando una depresión (Fig.93). En este tipo de movimientos es muy común el retroceso del deslizamiento hacia cabecera, lo que da lugar a un movimiento múltiple. Se originan de esta forma diversos escarpes de rotura muy verticalizados. Ocasionalmente, los márgenes laterales de la superficie de rotura pueden ser lo suficientemente altos y pendientes como para que estos flancos se hundan hacia la masa desplazada.

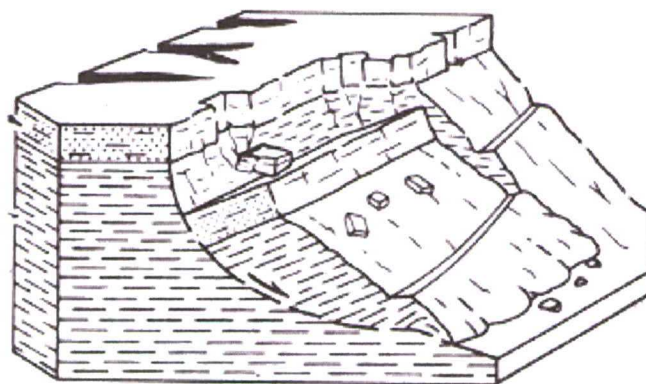


Fig. 93. Deslizamiento rotacional en rocas (CRUDEN & VARNES, 1996)

Los deslizamientos rotacionales tienen lugar preferentemente en materiales homogéneos. Tal es el caso que nos ocupa, en macizos rocosos muy fracturados. La superficie de rotura suele coincidir inicialmente con grandes planos de discontinuidad en la roca o contactos geológicos entre dos tipos de materiales de diferente dureza.

Los deslizamientos rotacionales son muy susceptibles a la reactivación. Tienden a estabilizarse por disminución del momento de giro. No obstante, un cambio de las condiciones de estabilidad: modificaciones de la geometría de la ladera, presencia de agua, erosión de la base etc., pueden dar lugar a una nueva inestabilidad.

### **8.3.1. - Descripción de los movimientos**

Los deslizamientos rotacionales en roca en la zona de estudio son movimientos a gran escala, cartografiados con fotografía aérea. Se trata de grandes movimientos antiguos, que han configurado el actual paisaje de la Serra de Tramuntana.

Son movimientos que afectan principalmente a las rocas carbonatadas del Lías, en facies de dolomías, brechas y calizas. La superficie de rotura, en la mayor parte de los deslizamientos analizados, corta el contacto geológico entre los materiales liásicos y los sedimentos más blandos del Rethiense.

Con la finalidad de analizar los diferentes parámetros que caracterizan estos movimientos, se han seleccionado tres cortes geológico-geomorfológicos donde se representan estas tipologías:

#### Corte IV (Fig. 94)

Realizado en la franja litoral de la zona Esporles – Deià (véase ubicación en el mapa nº 13, Tomo II-Mapas). Con dirección SE-NO, desciende desde las cimas de Povet y Veia (871m) hasta el mar, junto al Port de S'Estaca. En el mapa nº 13, se representan varias cicatrices de rotura en esta línea de cimas. Se trata de escarpes de cabecera de deslizamientos rotacionales múltiples que afectan, en una extensión aproximada de 300,000 m<sup>2</sup>, a los materiales del Lías.

El deslizamiento representado en el corte IV, presenta un radio de giro de 400 m y una profundidad de la superficie de rotura de 130 m respecto a la topografía actual. El volumen de roca movilizado se estima en  $40 \times 10^6 \text{ m}^3$ . La masa movilizada apenas presenta deformación interna. El escarpe de cabecera del deslizamiento constituye una pared casi vertical de unos 40 m de altura, que en la actualidad funciona como un frente de desprendimientos rocosos. Hacia cotas más bajas del corte, se observan importantes depósitos de derrubios de ladera, a su vez movilizados.

La superficie de rotura corta el contacto geológico entre los materiales liásicos y los correspondientes al Rethiense. El macizo rocoso presenta un aspecto homogéneo, no siendo visible la estratificación.

#### Corte VI (Fig. 95)

Realizado en el extremo más septentrional de la zona Esporles – Deià. Desde las cimas de la Serra des Boixos, junto al pico Sa Calera, hasta la costa de Deià (véase mapa nº 13, Tomo II – Mapas).

Se trata de un deslizamiento rotacional en roca múltiple. Se han diferenciado cuatro movimientos que afectan a una escama principal de cabalgamiento que



superpone los materiales liásicos e infraliásicos sobre los sedimentos del Keuper. Este contacto tectónico podría estar muy relacionado con la superficie de rotura inicial, ya que los materiales del Keuper constituyen un nivel blando impermeable. Las superficies de rotura cortan el contacto geológico entre los materiales del Rethiense y Lías.

La superficie de terreno afectada por estos movimientos se estima en 3 Km<sup>2</sup>. La profundidad de la superficie principal de rotura se cifra en torno a los 450 m. El volumen de roca movilizada, para el conjunto de movimientos, puede estimarse en 1,5 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>.

En el mapa nº 13 (Tomo II –Mapas), se observa que los escarpes de rotura de estos deslizamientos constituyen en la actualidad frentes de caída de rocas. Hacia cotas más bajas del corte se observan potentes depósitos de derrubios de ladera superpuestos directamente sobre los materiales del Keuper. Estos sedimentos cuaternarios están movilizados recientemente.

#### Corte X ( Fig. 96. Ficha de inventario nº 54)

Realizado en la franja litoral comprendida entre el Port de Sóller y la Punta de Cala Roja (véase mapa nº 21, Tomo II – Mapas). El corte, perpendicular a la línea de costa, desciende desde el Puig de Bàltx (579 m) hasta el mar, atravesando S'Illeta.

Se trata de un deslizamiento rotacional múltiple, con al menos dos superficies de rotura. Afecta a los materiales duros carbonatados del Lías y sedimentos más blandos del Rethiense, cortando el contacto geológico entre ambos materiales.

La superficie de terreno afectada por este movimiento se calcula en torno a 1,2 Km<sup>2</sup>. La profundidad de la superficie de rotura principal se estima de 170 m y el volumen de masa movilizada supera los 200 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. El valor del eje imaginario de giro de este gran deslizamiento se ha valorado en 750 m y el desplazamiento de la masa movilizada en torno a los 150 m. Las dimensiones de este movimiento quedan reflejadas en la Fig. 97, donde se representa una fotografía aérea del mismo.

Como se observa en la citada figura, el escarpe de cabecera y flancos laterales de este movimiento son muy pendientes, constituyendo paredes casi verticales de hasta 100 m de altura. Todo parece indicar que la pequeña isla, conocida como S'Illeta, situada al pie del deslizamiento, puede ser un gran bloque desplazado durante la ocurrencia del mismo (véase Apartado 7.4.5, Fig. 80).

#### Corte IX (Fig. 98. Ficha de inventario nº 55)

Realizado en el extremo septentrional de la zona de Sóller (mapa nº 21, Tomo II-Mapas). Desciende desde las cimas de la Serra de Son Torella (1350 m) hasta el mar, en la zona conocida como Sa Costera.

Aunque en la cima del corte se observan deslizamientos de este tipo que afectan a los materiales carbonatados liásicos de la Serra de Son Torella, se analizará el deslizamiento más litoral, indicado en el corte como “Paret Llarga”, e inventariado con el número 55 (Anexo I).

Se trata de un deslizamiento rotacional múltiple, con al menos tres superficies de rotura identificadas. La superficie principal del deslizamiento corta la serie normal del Keuper (aflora en Cala Tuent), Rethiense y Lías. No se observan planos de estratificación en los materiales.





Fig. 97. Deslizamiento de Bàltx en la costa de Sóller.

La superficie de terreno afectada por el movimiento se cifra en torno a 3 Km<sup>2</sup> y la profundidad de la superficie principal de rotura en 100 m. El volumen de masa movilizada se estima en  $300 \times 10^6 \text{ m}^3$ , con un desplazamiento mínimo de 125 m. El radio de giro del movimiento se considera cercano a los 700 m

El escarpe de cabecera y flancos laterales del deslizamiento principal constituyen paredes casi verticales de hasta 100 m de altura, actuando a su vez como frentes de desprendimientos rocosos. En la Figura 97, al fondo, se observa la cicatriz dejada por este movimiento.

En los cortes V, VII y VIII (Figuras 83, 84, 85. Capítulo 7), se observa también este tipo de deslizamientos que afectan a los relieves liásicos de las sierras de Calera en Deià y Alfàbia y Torrelles en Sóller.



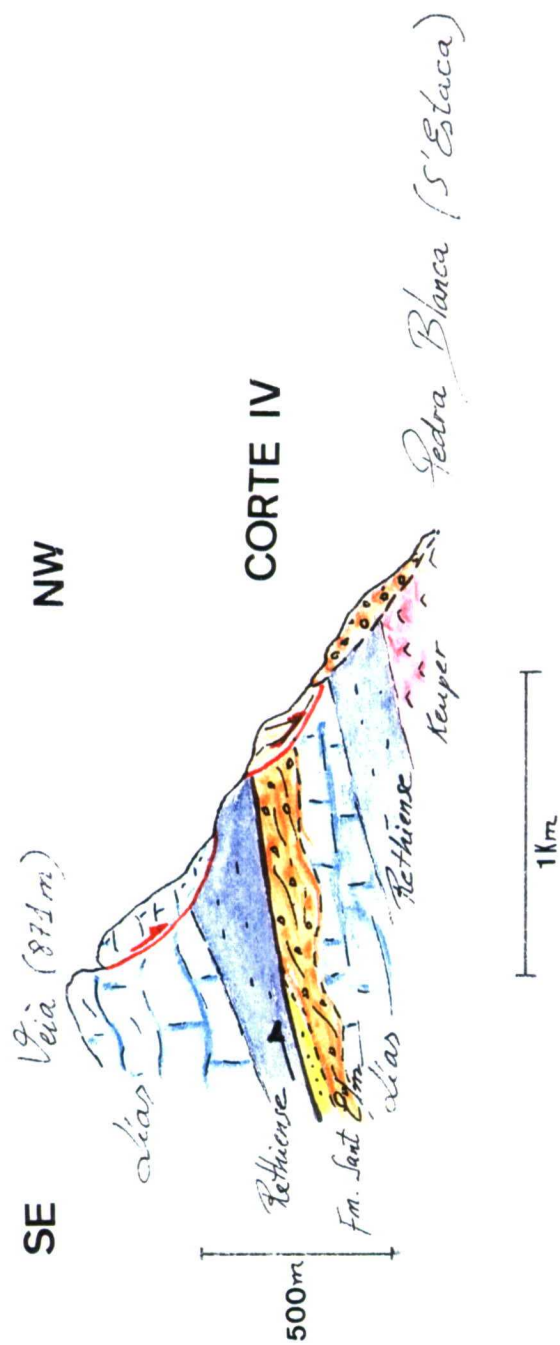


Fig.94. Corte geológico IV. Tramo de costa comprendido entre Valldemossa y Deià. Desde el alto de Veia (871 m) hasta el Port de S'Estaca. Zona Esportes - Deià. Localización en mapa nº 13 (Tomo II - Mapas)

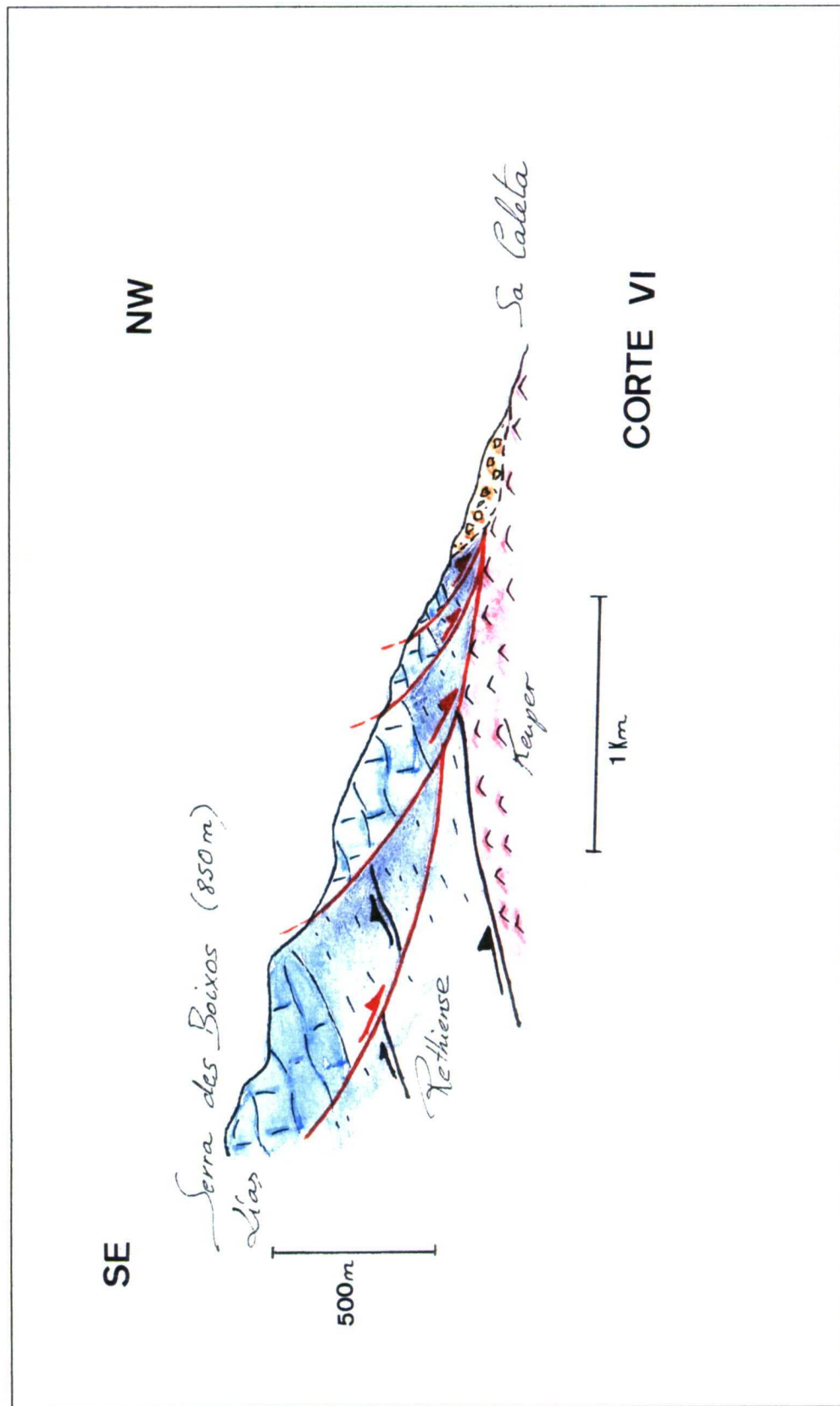


Fig. 95. Corte geológico VI. Desde las cimas de la Serra des Boixos hasta la costa de Delà. Extremo septentrional de la zona Esportles - Delà. Localización en mapa nº 13 (Tomo II - Mapas)



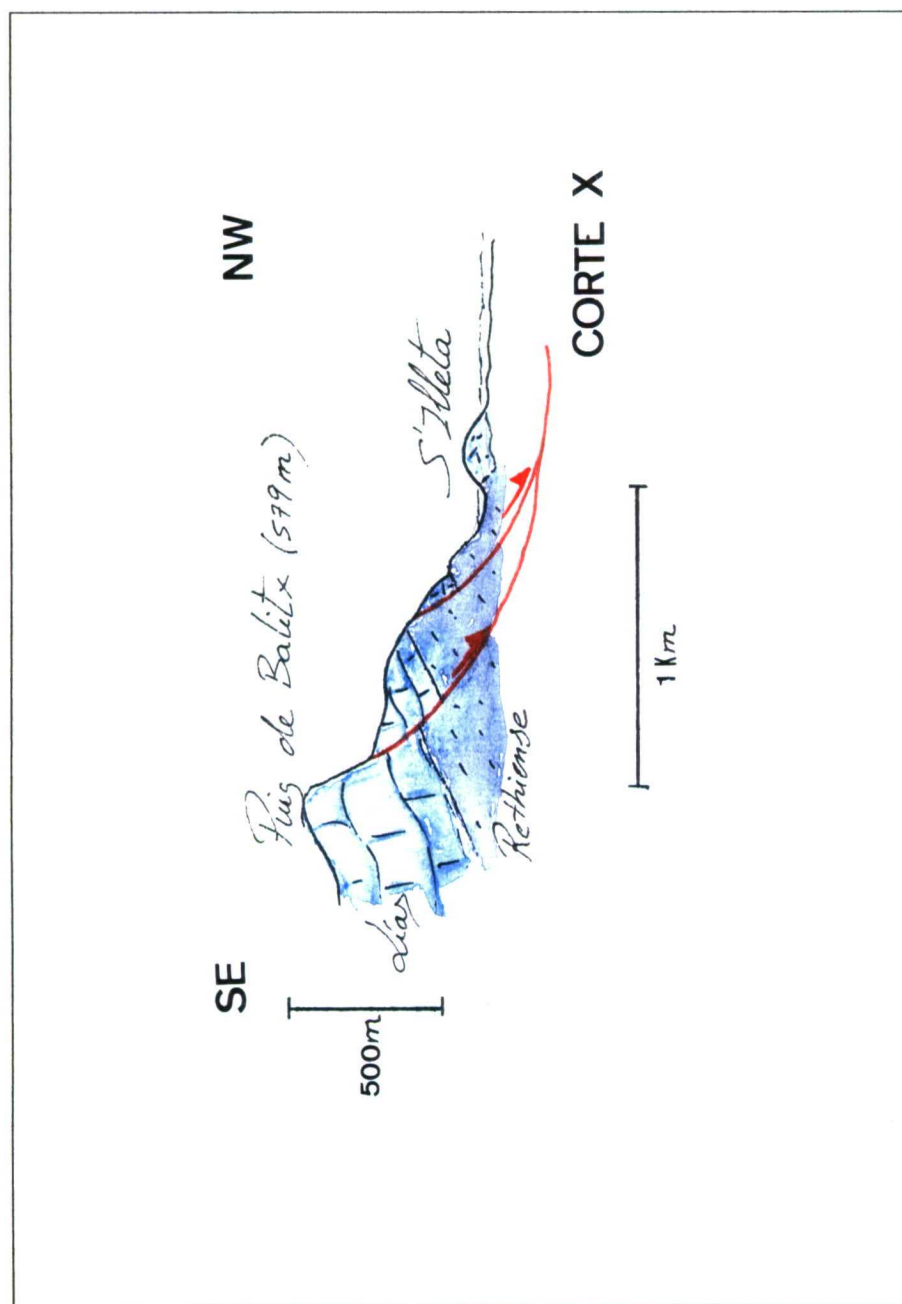


Fig. 96. Corte geològic X. Desde el Puig de Bàlitz hasta el mar, atravesando S' Illota. Franja costera de la Zona de Sóller. Localización en mapa nº 21 (Tomo II - Mapas)

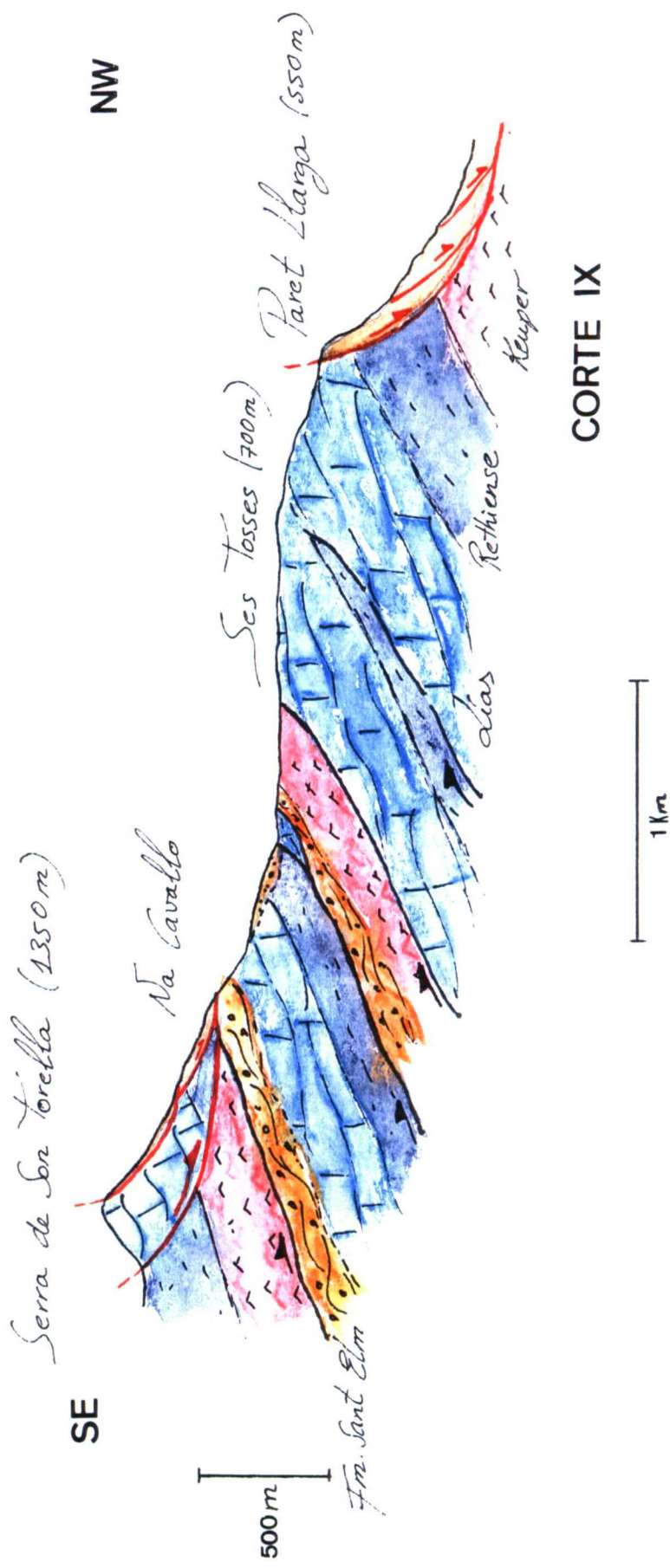


Fig. 98. Corte geológico IX. Desde las cimas de la Serra de Son Torrella (1350 m) hasta el mar. Extremo septentrional de la zona de Sóller. Localización en mapa nº 21 (Tomo II - Mapas)



### 8.3.2. – Características generales de los deslizamientos rotacionales en roca: discusión sobre su origen

Este tipo de deslizamientos, en las tres zonas analizadas, presenta las siguientes características:

- Afectan a macizos rocosos homogéneos muy fracturados, donde no se observa la estratificación
- Siempre están involucrados los materiales carbonatados de edad liásica.
- En la mayoría de los casos, cortan el contacto normal entre los materiales del Rethiense y Lías.
- Cortan las principales estructuras tectónicas de la Serra.
- Los escarpes de cabecera de estos deslizamientos se alinean de forma paralela a los principales frentes de cabalgamientos de la Serra, así como a la línea de costa (dirección SO-NE).
- Los escarpes de cabecera constituyen paredes verticalizadas, poco erosionadas. Los flancos laterales pueden presentar igualmente estas características.
- Se observan depósitos de derrubios recientes al pie de estos deslizamientos.
- Se observan movimientos de este tipo a diferentes cotas, en los altos relieves y en la franja litoral.
- Los deslizamientos cartografiados en la línea de costa se corresponden con una acumulación de sedimentos clásticos en el litoral de tipo grosero, con espesores de hasta 15 m (mapas nºs: 7, 15, 23, Tomo II - Mapas).

Los datos obtenidos indican que se trata de grandes movimientos posteriores a la etapa compresiva de emplazamiento de los mantos de cabalgamiento. La nitidez de las superficies de rotura y la relación con depósitos litorales poco retrabajados por el mar, aluden a movimientos recientes, de edad cuaternaria. El origen de estos deslizamientos rotacionales a gran escala en la zona de estudio, podría estar ligado a los siguientes procesos desencadenantes:

#### a) *Tectónicos*

- Régimen extensional que a partir del Serravalliense configura definitivamente la isla de Mallorca. Las superficies de rotura corresponderían a fallas normales lítricas que cortan materiales de diferente dureza.
- Relajación de esfuerzos tras el episodio orogénico. Apertura de grandes grietas paralelas a los frentes de paredes rocosas y/o acantilados. Esta hipótesis viene avalada por la localización de los movimientos de forma paralela a los frentes de cabalgamiento y paralelos a la línea de costa.

#### b) *Climatológicos*

Episodio/s climático/s muy húmedos durante el Cuaternario, lo que condicionaría superficies de rotura tan profundas. Este proceso desencadenante podría ser la causa de los deslizamientos cuya superficie de rotura coincide con la aparición de los materiales blandos del Keuper, que constituyen un nivel impermeable de despegue.

La localización de estos movimientos a diferentes cotas (superiores incluso a los 900 m) descartaría una posible relación de su génesis con cambios en la posición del nivel del mar a lo largo del Cuaternario.

#### 8.4. – MOVIMIENTOS COMPLEJOS EN SUELOS: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES CON FLUJOS ASOCIADOS

Son movimientos de ladera donde la rotura se inicia como un deslizamiento rotacional y posteriormente, la masa deslizada se comporta como un flujo. En la bibliografía científica estos movimientos se denominan slump – earth flows; complex earth slide – earth flow (CRUDEN & VARNES, 1996). Son movimientos característicos de sedimentos finos o materiales muy meteorizados. En la Fig.99 se representa un esquema de la morfología de estos movimientos complejos.

Los flujos posteriores a los deslizamientos rotacionales son movimientos espacialmente continuos, donde las superficies de rotura no se preservan. La distribución de las velocidades durante el desplazamiento se asemeja a un líquido viscoso. La masa movida no conserva su forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo morfologías lobuladas. Los materiales de la Serra de Tramuntana que pueden verse afectados por este tipo de movimientos son aquellos con comportamiento de suelos y/ rocas blandas muy meteorizadas. Según la clasificación geotécnica realizada en este trabajo (Apartado 6.2) son los siguientes:

- Suelos arcillosos plásticos del Holoceno
- Sedimentos coluviales y aluviales sin consolidar del Cuaternario.
- Facies Keuper alteradas en superficie: arcillas y lutitas versicolores, margas rojas y violáceas, cineritas, con presencia de yesos.
- Formación Turbidítica de Banyalbufar: alternancia de margas y calcarenitas
- Facies margosas de los materiales del Muschelkalk, Rethiense y Dogger - Malm.

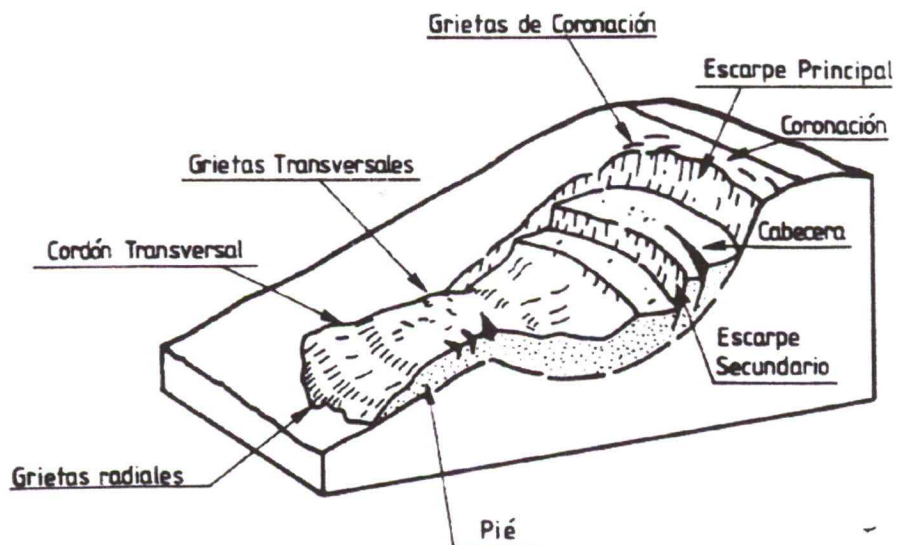


Fig. 99. Esquema de la morfología de un deslizamiento rotacional con flujo asociado al pie (modificado de VARNES, 1978)



Los movimientos de flujo observados en la zona de estudio pueden ser de diversos tipos, según las litologías afectadas. Se han descrito los siguientes:

### 1. Coladas de tierra (earth flow)

Se trata de la deformación plástica, lenta y no necesariamente muy húmeda de tierra o rocas blandas, en laderas con una inclinación moderada. Tiene lugar una deformación interna del material y se observan morfologías lobuladas que dan lugar a un volumen positivo sobre la superficie original del terreno.

Este tipo de flujos se ha descrito en la Serra de Tramuntana asociados principalmente a rocas blandas y suelos residuales, tales como: lutitas del Buntsandstein, niveles margosos de la Formación Turbidítica de Banyalbufar y facies margosas del Muschelkalk, Dogger y Malm. En las fichas inventario (Anexo I) números: 28, 29, 31, 37, 38, 45, 48, se describen este tipo de movimientos, generalmente de pequeñas dimensiones en la zona de estudio.

### 2. Coladas de barro (mud flow)

Son movimientos similares a los anteriores que afectan a materiales cohesivos con un elevado contenido de limos y arcillas. Se origina un depósito elongado, lobulado en su pie, que da lugar igualmente a un relieve positivo. Los sedimentos finos del Keuper: arcillas, lutitas versicolores, margas rojas y violáceas, cineritas y yesos, dan lugar a este tipo de flujos, cuyas descripciones quedan recogidas en las fichas inventario (Anexo I) números: 8, 13, 16, 21, 23, 24, 26, 33, 39, 40, 50, 51,.

En la Figura 100 se representa un deslizamiento rotacional con flujo del material que afecta a los sedimentos finos del Keuper.



Fig. 100. Cabecera de deslizamiento rotacional con flujo que afecta a los materiales blandos del Keuper. Existe un nivel superpuesto de derrubios de ladera cuaternarios, origen de los bloques sueltos en la masa deslizada. Carretera C-710, Km 83 (tramo del Port des Canonge a Banyalbufar). Ficha inventario nº 51 (Anexo I)



Los sedimentos cuaternarios de naturaleza coluvial, presentan un elevado contenido de arcilla y limo en la matriz que soporta los bloques. La pérdida de resistencia al corte del material por el aumento de las presiones de agua, puede dar lugar a la fluidificación de la matriz, arrastrando los bolos y bloques que conlleva. La bibliografía parece confusa a la hora de tipificar estos movimientos, ya que al ser materiales cohesivos con un elevado contenido en limos y arcillas podrían enmarcarse dentro de las “coladas de barro”. No obstante, se trata de un sedimento granular, con bolos y bloques de gran tamaño, por lo que algunos autores definen estos movimientos como flujos de derrubios o debri flows. La proporción de matriz fina en el sedimento puede dar lugar al tránsito entre un tipo de movimiento u otro.

Los deslizamientos rotacionales con flujos que afectan a los depósitos de ladera cuaternarios son los movimientos más abundantes inventariados en la zona de estudio. En las fichas de inventario (Anexo I) números: 1, 15, 18, 20, 22, 40, 42, 44, 46, 47, 52 se describen con más detalle estos movimientos. En la Fig. 101 se observa el correspondiente a la ficha de inventario nº 40, que corta a la carretera C-710, en el tramo comprendido entre Banyalbufar y Estellencs.

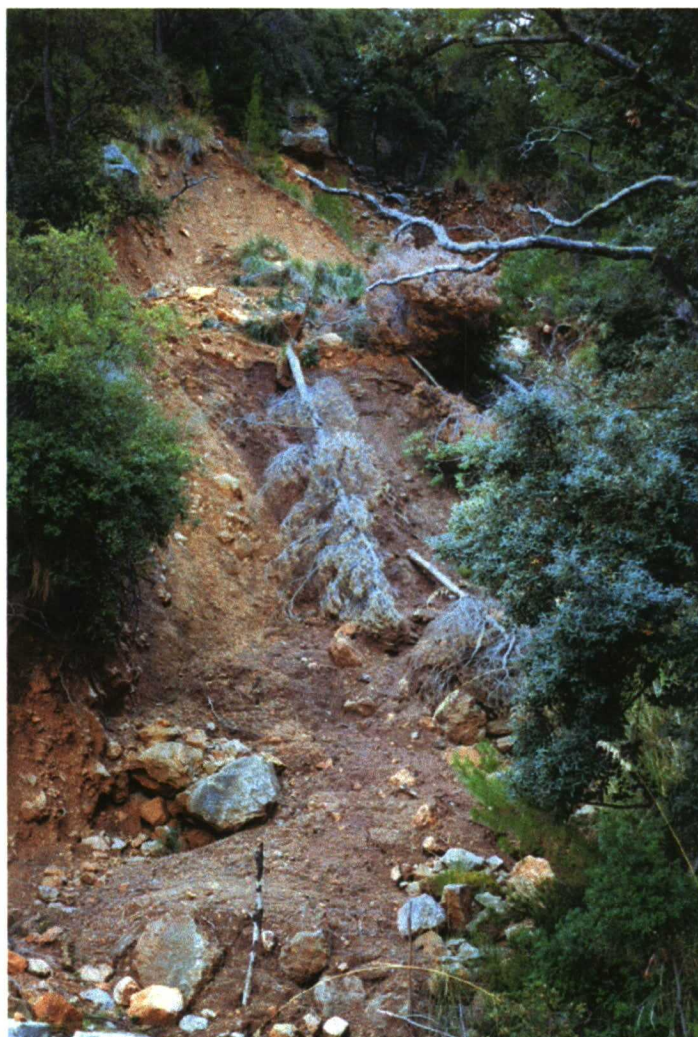


Fig. 101. Flujo en los sedimentos coluviales cuaternarios. Carretera C-710, Km 90,610 (tramo entre Banyalbufar y Estellencs). Ficha inventario nº 40 (Anexo I)



### 3. Flujo de derrubios (debri flow)

Son movimientos rápidos de material detrítico (decenas de metros por hora a metros por segundo) poco cohesivo en el cual predomina la fracción gruesa: arenas, gravas y bloques. El contenido de agua es elevado y la fracción sólida puede llegar a constituir el 80% en peso de la masa movilizada. La corriente puede bajar tanto por laderas abiertas como canalizadas por vaguadas u hondonadas del terreno. La morfología del depósito es variable, cuando se canaliza por barrancos puede dar lugar a la formación de conos de deyección. Este tipo de movimientos se produce en la zona de estudio al pie de los frentes de caída de rocas, donde tiene lugar una importante acumulación de bloques desprendidos (Fig. 102).



Fig.102. Flujo de derrubios. Es Vinyet, camino de Cala Deià a Lluch – Alcari. Ficha inventario nº 10 (Anexo I)

Los movimientos complejos en suelos descritos hasta el momento son movimientos recientes, de escasa envergadura, que afectan a unos pocos metros de la superficie del terreno. Del registro histórico de deslizamientos en la zona de estudio (véase Cuadro 1. Capítulo 1) destacan los movimientos que tuvieron lugar en la ladera del margen izquierdo del torrente de Fornalutx en los años 1924 y 1974, tras la ocurrencia de intensas lluvias. Estos movimientos afectaron a los sedimentos coluviales, de varios metros de espesor, superpuestos a los materiales blandos del Keuper, de carácter impermeable, y a través de cuyo contacto se inicia la superficie de rotura. Este hecho se repite en otras laderas de la Serra con las mismas condiciones geológicas.

En el Corte II de la figura 103, se ha representado un deslizamiento rotacional de grandes dimensiones, que afecta principalmente a materiales blandos de la Formación Turbidítica de Banyalbufar y Muschelkalk en la cuenca de la localidad de Banyalbufar. Se trata de un movimiento antiguo, posiblemente relacionado temporalmente con los grandes deslizamientos rotacionales en roca.



Fig. 103. Corte geológico II. Desde Planicia (934 m) hasta el mar, atravesando la localidad de Banyalbufar. Zona Estellencs - Banyalbufar. Localización en mapa nº 5 (Tomo II - Mapas)



## Capítulo 9

# **ANÁLISIS Y CARTOGRAFÍA DE LA SUSCEPTIBILIDAD**

### **9.1. – INTRODUCCIÓN**

El análisis de susceptibilidad por movimientos de ladera tiene como objetivo principal establecer una distribución de las áreas afectadas y de aquellas potencialmente inestables, es decir, aquellas zonas en las que confluyen una serie de factores proclives a la inestabilidad.

En capítulos anteriores se han analizado con detalle aquellos factores intrínsecos que condicionan la aparición de movimientos de ladera, realizando cartografías a escala 1:25,000 de los diferentes factores considerados: geología, pendientes, vegetación, propiedades geomecánicas de los materiales, etc. En el mapa morfogenético e inventario de movimientos se han representado las zonas que han sufrido procesos de inestabilidad, indicándose la tipología del movimiento y una estimación temporal de su ocurrencia (recientes/ antiguos). Este mapa permite localizar las áreas afectadas.

El reconocimiento de las zonas afectadas, la correcta identificación de las inestabilidades, tipologías, modelos, mecanismos de rotura, etc., permite establecer los factores que han intervenido, así como el grado de influencia de cada uno. Aquellas zonas que presenten una confluencia similar de factores, serán susceptibles de sufrir inestabilidades cuando actúen los factores externos o desencadenantes.

Numerosos autores como VARNES (1984), HANSEN (1994); BRABB (1984), CARRARA et al. (1991), COROMINAS (1988), IRIGARAY (1995), etc., han llevado a cabo diversas metodologías para el análisis de la susceptibilidad basadas en el análisis multivariante de la correlación entre factores condicionantes y el inventario de movimientos. En base a estos estudios previos, MATEOS & FERRER (1995) desarrollan una metodología para realizar una cartografía de susceptibilidad en la zona de Monachil (Granada), centrada en la superposición de los diferentes factores condicionantes con el mapa inventario, lo que permite determinar los factores que concurren en las zonas movilizadas y su peso en la inestabilidad.

En el presente trabajo se ha desarrollado una metodología propia para el análisis de susceptibilidad, denominada “Método de los Círculos”, basada igualmente en la definición de los parámetros que han intervenido en la aparición de cada tipo de movimiento y su grado de influencia. Se han desarrollado los denominados “*círculos de susceptibilidad*”, que permiten visualizar esta metodología que se explica con más detalle a continuación.

## 9.2. – EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD: MÉTODO DE LOS CÍRCULOS

Para realizar el análisis de susceptibilidad por movimientos de ladera en la zona de estudio se han llevado a cabo los siguientes pasos:

1. Reconocimiento e inventario de campo de los procesos de inestabilidad. Tipologías y mecanismos de rotura, magnitud de los movimientos e identificación de los diferentes factores condicionantes.
2. Realización del mapa morfogenético e inventario de movimientos de ladera a escala 1: 25,000, donde se localizan los movimientos inventariados en campo y los cartografiados a partir de fotografía aérea.
3. Elaboración de las cartografías de factores condicionantes a escala 1: 25,000
  - Mapa geológico
  - Mapa litológico – geotécnico
  - Mapa de permeabilidades
  - Mapa de pendientes
  - Mapa de vegetación
4. Superposición del mapa inventario con los mapas de factores condicionantes, estableciendo qué factores confluyen en la aparición de cada tipo de inestabilidad. El conocimiento de los mecanismos de rotura y la experiencia obtenida durante el inventario de campo, permite otorgar un peso a cada factor en función de su contribución a la inestabilidad.

Como método gráfico para la evaluación del grado de susceptibilidad frente a procesos de movimientos de ladera, se propone una metodología propia denominada “Método de los Círculos”.

La identificación de los factores condicionantes y su grado de influencia nos ha permitido elaborar los “*Círculos de Susceptibilidad*” para cada tipo de movimiento. Se trata de un círculo dividido en varios sectores, donde cada sector representa un factor condicionante, p.e. pendientes, litología, grado de fracturación etc. La apertura de cada sector dentro del círculo representa su grado de influencia en la inestabilidad, p.e. en desprendimientos rocosos, el grado de fracturación del macizo rocoso será un factor más determinante que la vegetación o la permeabilidad (Fig. 104).

Cada sector está a su vez dividido en varios subsectores indicativos de la leyenda del mapa realizado de ese factor. P.e., el sector “pendientes” está a su vez dividido en cuatro subsectores:  $<10^\circ$ ,  $10^\circ-30^\circ$ ,  $20^\circ-35^\circ$ ,  $>35^\circ$  (Fig. 105); el sector correspondiente a vegetación en los diferentes grupos establecidos: encinar, pinar, matorral etc.



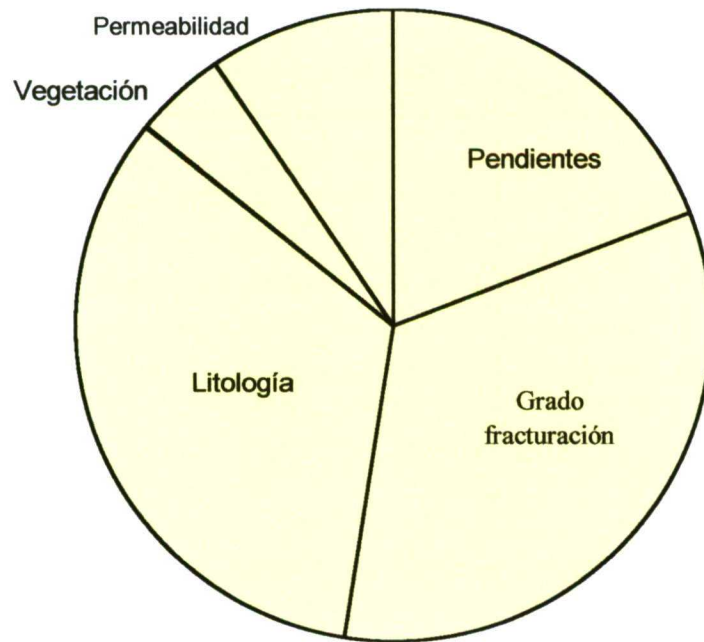


Fig. 104. Círculo de susceptibilidad. Distribución de la anchura del sector en función de la influencia en la inestabilidad del factor condicionante.

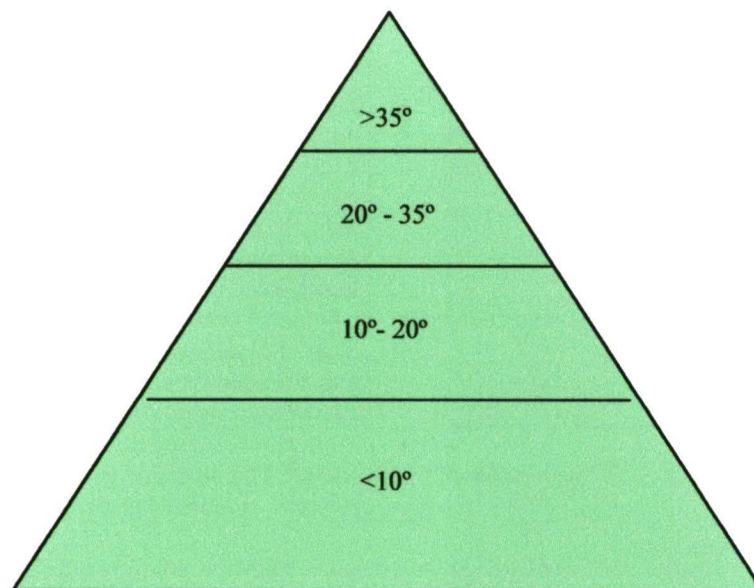


Fig. 105. Sector del Círculo de Susceptibilidad correspondiente al factor "pendientes"

Los sectores correspondientes a la permeabilidad y grado de alteración del material, se han dividido en varios subsectores según los criterios de CUSTODIO Y LLAMAS (1983) para la permeabilidad (Cuadro 32) y del ISMR para el grado de alteración (Cuadro 33).

Permeabilidad según Hazen cm/s	Clase de acuífero	Permeabilidad
3 0,7 0,1	Muy bueno Muy bueno Bueno	Alta – muy alta
0,05 9.10 <sup>-3</sup> 5.10 <sup>-3</sup> 2.10 <sup>-3</sup> 7.10 <sup>-4</sup>	Regular Pobre Pobre Muy pobre Muy pobre	Media  Baja
<7.10 <sup>-5</sup>	Impermeable	Muy baja

Cuadro 32. Clasificación de la permeabilidad. Modificado de CUSTODIO Y LLAMAS (1983)

Grado de alteración superficial	Término	Descripción
Bajo	Fresco  Ligeramente meteorizado	No aparecen signos de meteorización.  La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización.
Medio	Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
Alto	Altamente meteorizado	Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados. Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva intacta la estructura original del macizo rocoso.
Muy alto	Suelo residual	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo rocoso y la fábrica del material.

Cuadro 33. Clasificación del grado de alteración. Modificado del ISRM



Para establecer el grado de fracturación de un macizo rocoso, se ha elaborado el Cuadro 34, según criterios del ISRM (1981)

Grado de fracturación	Descripción
Alto	Macizo rocoso muy fracturado. Presencia de 3 o más familias de discontinuidades. Transición a un estado brechificado. Grandes variaciones en la forma y tamaño de los bloques.
Medio	Macizo rocoso con presencia de 2 a 3 familias de discontinuidades.
Bajo	Macizo rocoso masivo. Pocas discontinuidades o con espaciado muy grande

Cuadro 34. Grado de fracturación de macizos rocosos. Modificado de ISRM (1981)

La disposición de los subsectores es tal, que hacia el centro del círculo aumenta la contribución al grado de inestabilidad. P.e., los valores mayores de pendientes, el grado más elevado de fracturación etc., están en el centro del círculo. Así, las divisiones de cada factor están colocadas de tal forma que permiten establecer los grados de susceptibilidad. A medida que nos acercamos al centro del círculo, mayor es la susceptibilidad a la generación de ese tipo de movimiento (Fig. 106).

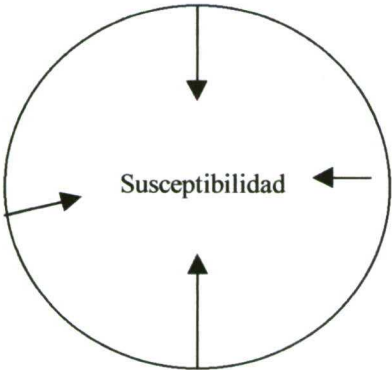


Fig. 106. Aumento de la susceptibilidad hacia el centro del Círculo de Susceptibilidad

El grado final de susceptibilidad se determina en función de los rangos de valores asignados a cada uno de los factores, estableciéndose la siguiente escala de susceptibilidad:

- Muy alta
- Alta
- Media
- Baja
- Muy baja

### 9.2.1. - Círculo de susceptibilidad para desprendimientos rocosos

Los desprendimientos rocosos que tienen lugar en la Serra de Tramuntana se producen por la confluencia de las siguientes condiciones:

- En macizos rocosos de rocas duras y moderadamente duras.
- Pendientes elevadas, generalmente farallones casi verticales.
- Presencia de discontinuidades netas en el macizo rocoso, que constituyen los planos de rotura. Alto grado de fracturación.
- Permeabilidad elevada por fisuración. La apertura de las diaclasas permite la circulación del agua, lo que contribuye a desestabilización.
- Ausencia de vegetación o presencia de matorral, hecho ligado a las elevadas pendientes.

Los tres primeros factores enumerados: litología, pendiente y grado de fracturación son determinantes en la aparición de este tipo de movimientos, con pesos similares en la inestabilidad. La vegetación y permeabilidad son de menor importancia. En aquellas zonas que presenten rasgos similares, la susceptibilidad a sufrir desprendimientos rocosos será alta o muy alta.

En las zonas donde confluyan las siguientes características, el grado de susceptibilidad a la aparición de desprendimientos rocosos será medio:

- Litologías correspondientes a rocas blandas
- Pendientes medias, entre 20°-35°
- Grado medio de fracturación
- Permeabilidad media-baja por fisuración.
- Vegetación arbórea, principalmente el pinar.

En estas zonas, pueden generarse desprendimientos rocosos de menor envergadura y frecuencia.

No se han observado desprendimientos rocosos en zonas con las siguientes características.

- Litologías tipo suelos<sup>1</sup> o macizos rocosos con un grado muy bajo de fracturación.
- Bajas pendientes, inferiores a 20°.
- Permeabilidad muy baja por fisuración o permeabilidad por porosidad.
- Presencia de una vegetación que contribuye en gran medida al sostenimiento del suelo: encinar y cultivos de secano en aterrazamientos.

Estas zonas presentarán un grado de susceptibilidad bajo o nulo a los desprendimientos rocosos.

---

<sup>1</sup> Hay que resaltar la abundante presencia de desprendimientos rocosos en depósitos de tipo aluvial y coluvial, cuando se lava la matriz fina que sostiene los bloques.



El círculo de susceptibilidad elaborado para desprendimientos rocosos (Fig.107) muestra lo expuesto con anterioridad. La susceptibilidad más elevada, reflejada en color rojo en el centro del círculo, aparece en macizos rocosos muy fracturados con elevada pendiente. El grado de susceptibilidad medio se refleja en color verde en la franja intermedia del círculo, en condiciones de pendientes intermedias y macizos rocosos con menor grado de fracturación. La susceptibilidad baja queda reflejada en color amarillo en la franja más externa del círculo, en condiciones de bajas pendientes o litologías tipo suelos.

### **9.2.2. – Círculo de susceptibilidad para deslizamientos en roca**

Este tipo de movimientos de ladera se produce por la confluencia de los siguientes factores condicionantes:

- Macizos rocosos carbonatados de rocas duras. Generalmente en las calizas y dolomías liásicas.
- Superficie de rotura en relación con la presencia de contactos geológicos.
- Superficie de rotura en relación con la existencia de planos de falla u otras estructuras relevantes.
- Pendientes superiores a 35°.
- Permeabilidad por fisuración de la roca elevada
- Ausencia de vegetación arbórea.

Los tres primeros factores: litología, presencia de contactos geológicos entre diferentes litologías y presencia de importantes elementos estructurales, son los de mayor relevancia en la generación de este tipo de movimientos. La permeabilidad y tipo de vegetación tienen menos influencia, así como las pendientes, ya que se han cartografiado deslizamientos rotacionales en roca en pendientes no muy elevadas. Parece claro que el control geológico y estructural es el dominante en la aparición de este tipo de movimientos de ladera.

En las zonas donde confluyan las siguientes características, el grado de susceptibilidad a la generación de estos deslizamientos será medio:

- Litologías correspondientes a rocas moderadamente duras: dolomías del Muschelkalk y Rethiense.
- Presencia de contactos geológicos con otras litologías.
- Presencia de elementos estructurales, no tan relevantes como en el caso anterior.
- Permeabilidad media por fisuración.
- Pendientes entre 10 –20°
- Vegetación de pinar o secano.

Los deslizamientos rotacionales en rocas no se han observado cuando confluyen las siguientes condiciones:

- Litologías de rocas blandas y suelos
- Ausencia de contactos geológicos

- Ausencia de estructuras tectónicas
- Pendientes inferiores a 10°
- Permeabilidad por fisuración insignificante
- Vegetación boscosa abundante: encinar y/o pinar.

El círculo de susceptibilidad elaborado para deslizamientos rotacionales en roca (Fig. 108) refleja lo indicado anteriormente. El grado de susceptibilidad más elevado, resaltado en color rojo en el centro del círculo, se relaciona con litologías correspondientes a rocas duras con un fuerte dominio geológico y estructural. El grado medio de susceptibilidad, en color verde, engloba litologías de rocas moderadamente duras con dominio geológico y estructural no tan marcado. El grado bajo de susceptibilidad, color amarillo, se relaciona con litologías de rocas blandas y suelos, o macizos rocosos muy homogéneos, con ausencia de fracturas netas en la roca.

### **9.2.3. - Círculo de susceptibilidad para deslizamientos complejos en suelos**

Los deslizamientos complejos en suelos, generalmente deslizamientos rotacionales con flujos asociados, observados en la zona de estudio se localizan en áreas muy concretas con un fuerte control litológico. Se trata de movimientos recientes, superficiales y generalmente de pequeña envergadura.

La generación de este tipo de movimientos viene condicionada por la confluencia de los siguientes factores:

- Materiales tipo suelos: depósitos cuaternarios de tipo aluvial y coluvial, suelos cuaternarios y facies Keuper muy alteradas en superficie.
- Elevado grado de alteración superficial
- Permeabilidad por porosidad baja, condicionada por la elevada presencia de arcillas en el material.
- Pendientes superiores a 25°
- Ausencia de vegetación o presencia de huertos que producen una recarga de agua y una saturación del material.

El factor de mayor importancia es la litología, que engloba a todas aquellas con comportamiento tipo suelos. El grado de permeabilidad del material es un factor de gran importancia, muy condicionado por el porcentaje de fracción arcillosa en el material, ya que determina la generación de presiones intersticiales notablemente en la estabilidad de la ladera. La pendiente tiene también un peso importante en la generación de este tipo de movimientos, ya que el ángulo de fricción de estos materiales oscila entre 25°- 35°. La vegetación puede contribuir en gran medida al sostenimiento del suelo, pero no es determinante para la aparición o no de estos deslizamientos.

El grado medio de susceptibilidad a la generación de este tipo de movimientos se establece en aquellas zonas donde confluyan las siguientes características:



- Litologías correspondientes a rocas blandas alteradas en superficie
- Materiales con una permeabilidad por porosidad media
- Pendientes entre 10°- 20°
- Presencia de vegetación arbórea

No se han observado deslizamientos complejos en suelos (grado bajo – nulo de susceptibilidad) en las zonas que presentan algunas de las siguientes características:

- Macizos rocosos de rocas duras y/o moderadamente duras
- Pendientes inferiores a 10°
- Rocas blandas con un grado muy bajo de alteración superficial
- Materiales muy permeables
- Aterrazamiento antrópico de las laderas para el cultivo de árboles de secano.

El círculo de susceptibilidad diseñado para los deslizamientos complejos (Fig.109) en suelos refleja los criterios expuestos anteriormente. El grado de susceptibilidad alto, en color rojo en el centro del círculo, engloba litologías con comportamiento de suelos en pendientes superiores a 25°, muy alteradas en superficie y con una baja permeabilidad por porosidad. El grado de susceptibilidad medio, en color verde, se relaciona con litologías correspondientes a rocas blandas o suelos, alteradas en superficie, en laderas con pendientes entre 10°-20°, y con valores intermedios de permeabilidad. El grado bajo de susceptibilidad, reflejado en color amarillo, incluye litologías correspondientes a rocas blandas y suelos, poco alteradas en superficie y en pendientes inferiores a 10°.

### 9.3. – MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD

Los criterios establecidos en los “círculos de susceptibilidad” para estimar el grado de susceptibilidad permiten elaborar los mapas de susceptibilidad a movimientos de ladera en las tres zonas de estudio.

La metodología llevada a cabo para realizar los mapas de susceptibilidad se representa en la Fig. 110, y consta de las siguientes etapas:

1. Superposición del mapa morfogenético e inventario de movimientos de ladera con los mapas geológico y de pendientes. Esta superposición permite elaborar un mapa base inicial de susceptibilidad, ya que los factores litología, estructura y pendientes son los de mayor peso en la generación de los diferentes tipos de movimientos.
2. Reconocimiento en campo de diversos parámetros de gran importancia en el análisis de la susceptibilidad:
  - Grado de alteración superficial de los materiales, según criterios indicados en Cuadro 33. Parámetro de gran relevancia en suelos y por lo tanto en la generación de deslizamientos complejos.

- Grado de fracturación de macizos rocosos, según criterios indicados en Cuadro 34. Parámetro de gran relevancia para desprendimientos rocosos y deslizamientos en rocas.

El análisis de estos factores en campo permite discernir sobre el grado de susceptibilidad de un área determinada.

3. Superposición de otros factores de menor importancia. El grado de permeabilidad puede ser un factor secundario en movimientos de macizos rocosos y el tipo de vegetación y usos del suelo tiene poco peso en el inicio de la generación de los movimientos. La superposición de estas cartografías tiene como finalidad establecer el grado de susceptibilidad en aquellas zonas que se dude entre dos valores.

Además se ha marcado la franja de acantilados activos en base al mapa morfogenético e inventario de movimientos de ladera. Esta franja representa un área muy inestable, donde se produce un continuo retroceso de acantilados.

El resultado de la interrelación de toda esta información, bajo los criterios marcados por los “Círculos de Susceptibilidad”, permite elaborar el mapa de susceptibilidad de cada zona analizada a escala 1:25,000, donde se establecen 3 grados de susceptibilidad: bajo, medio y alto, representados por los colores amarillo, verde y rojo respectivamente. Dentro de cada grado de susceptibilidad se ha diferenciado el tipo de movimiento que puede producirse, reflejado en el mapa por diferentes tramas. Los mapas elaborados, recogidos en el Tomo II – Mapas, son los siguientes:

- Mapa nº 8: Susceptibilidad a los movimientos de ladera de la zona Estellencs- Banyalbufar
- Mapa nº 16: Susceptibilidad a los movimientos de ladera de la zona Esporles- Deià
- Mapa nº 24: Susceptibilidad a los movimientos de ladera de la zona de Sóller

La digitalización de los diferentes mapas de factores condicionantes se ha llevado a cabo con el programa AUTOCAD.14 que permite además la superposición en capas de aquellos factores que se considere cruzar.

### **9.3.1. – Mapa de susceptibilidad por movimientos de ladera de la zona de Estellencs – Banyalbufar**

En el mapa nº 8, Tomo II – Mapas, se representa la cartografía de susceptibilidad elaborada para esta zona, donde se observa lo siguiente (Fig.111):

- El 30% de la superficie de la zona presenta una inestabilidad potencial elevada, es decir un grado de susceptibilidad alto a la generación de movimientos de ladera.
- El 60% de la superficie de la zona presenta un grado de susceptibilidad medio. Son zonas potencialmente inestables, pero en menor grado que las anteriores.





**CÍRCULOS DE SUSCEPTIBILIDAD**  
Deslizamientos rotacionales en rocas

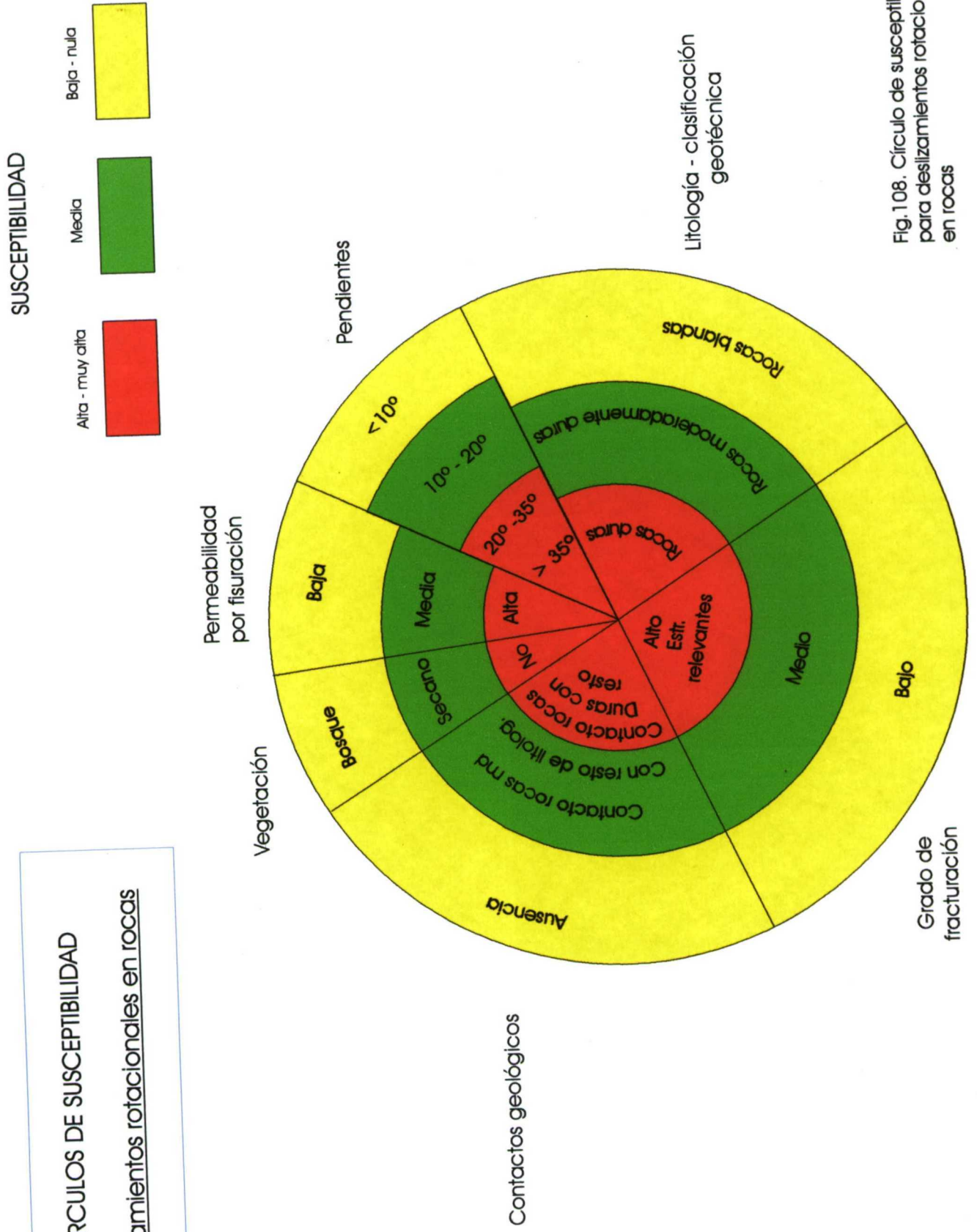
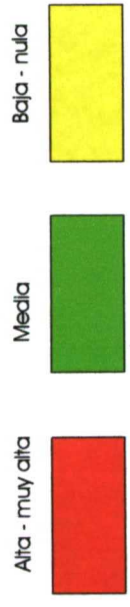


Fig.108. Círculo de susceptibilidad para deslizamientos rotacionales en rocas



# SUSCEPTIBILIDAD



## CÍRCULOS DE SUSCEPTIBILIDAD

Deslizamientos complejos en suelos

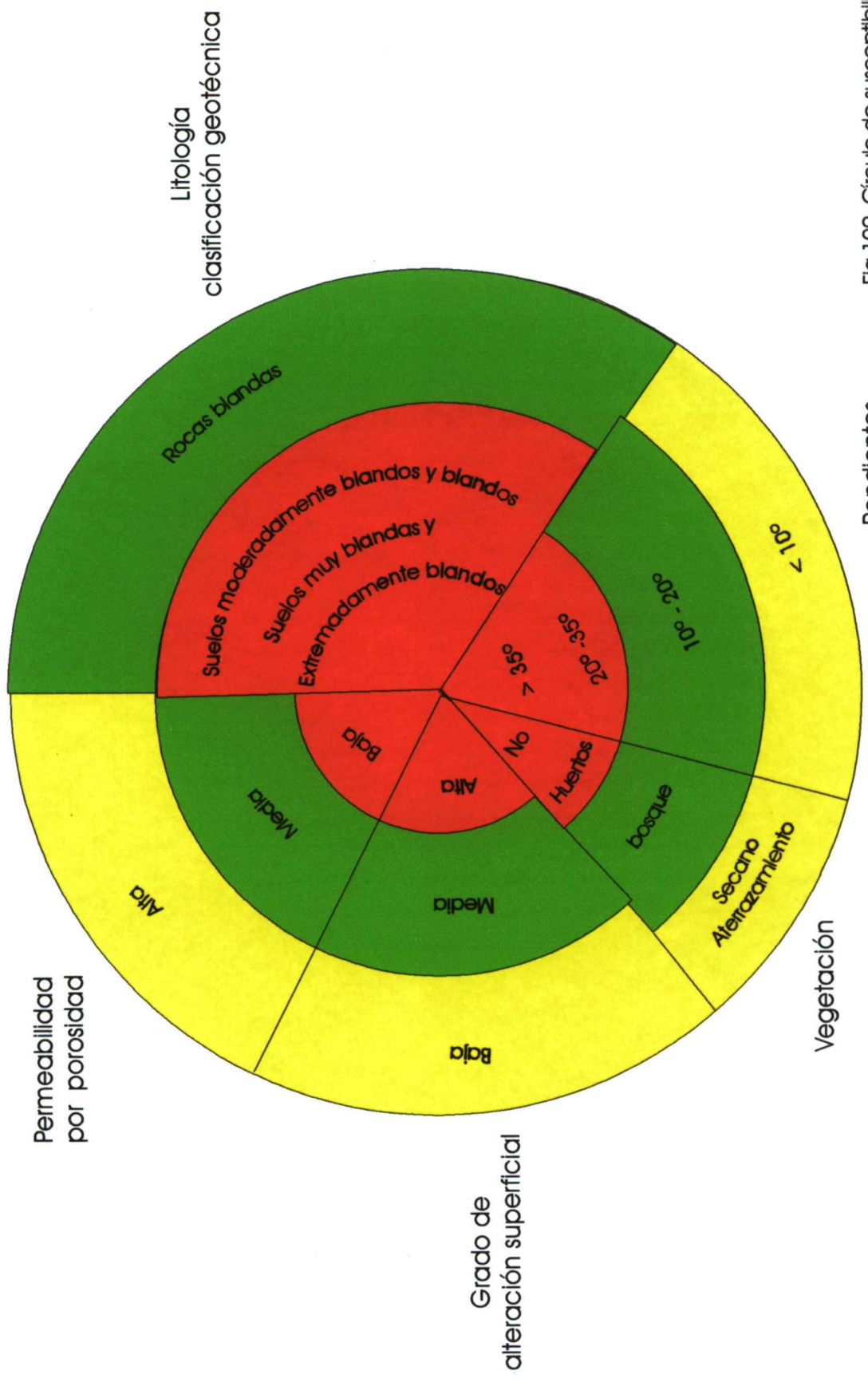


Fig.109. Círculo de susceptibilidad para deslizamientos complejos en suelos

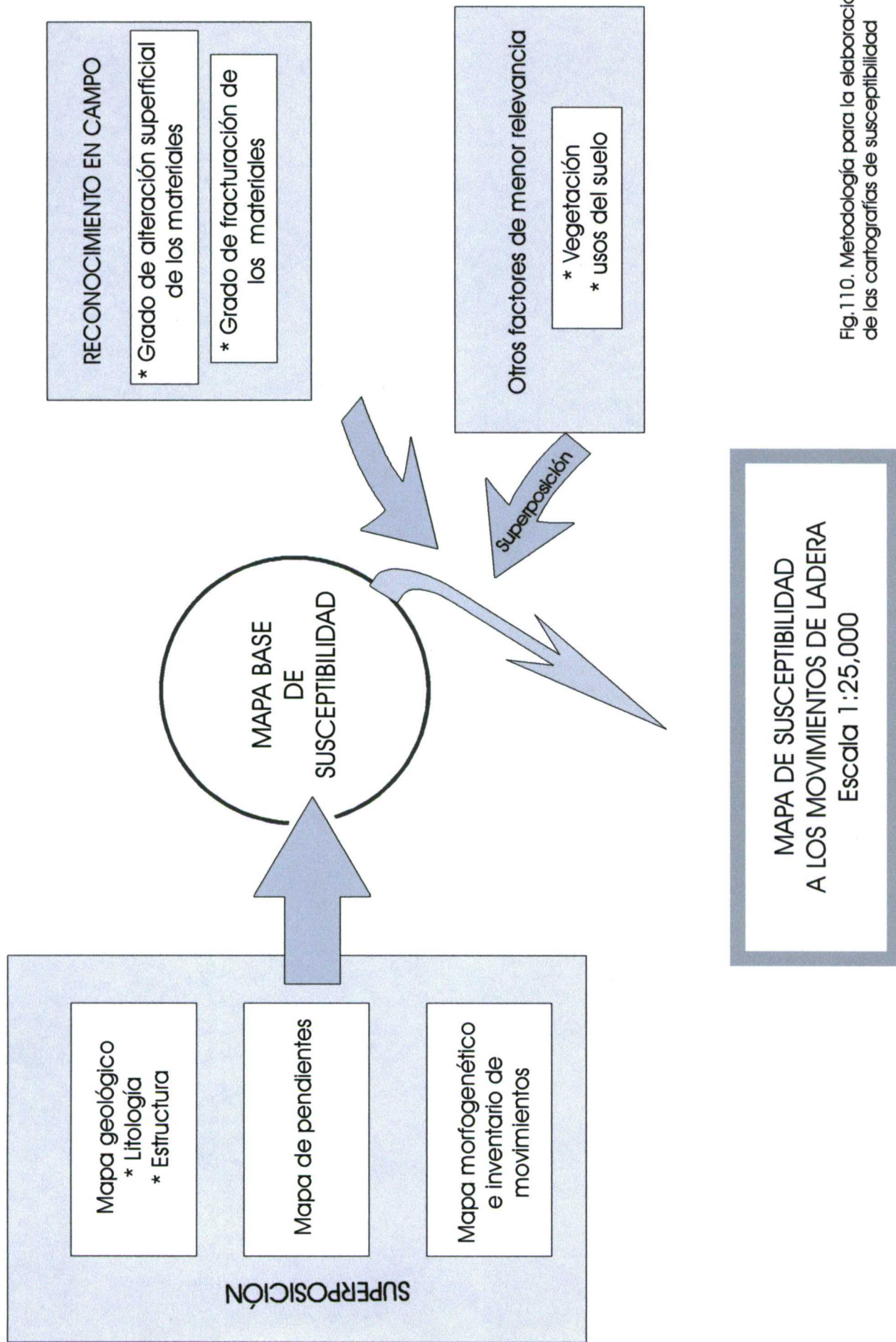


Fig. 110. Metodología para la elaboración de las cartografías de susceptibilidad



- El 10% de la superficie de la zona presenta un elevado grado de estabilidad potencial, es decir, un grado bajo de susceptibilidad a los movimientos de ladera.

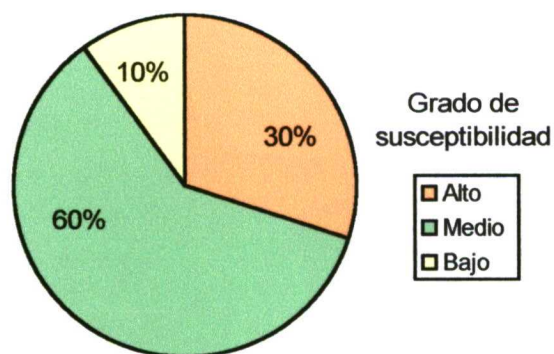


Fig. 111. Distribución de la superficie de la zona Estellencs – Banyalbufar según el grado de susceptibilidad a los movimientos de ladera

A continuación se comenta el análisis de susceptibilidad realizado en esta zona por tipologías de movimientos

#### 1. Desprendimientos rocosos:

- Las zonas marcadas con un elevado grado de susceptibilidad a los desprendimientos rocosos reflejan áreas con afloramientos de rocas duras y/o moderadamente duras en pendientes superiores a 35° y con un grado elevado de fracturación. Coinciden generalmente en la zona con frentes rocosos de calizas y dolomías liásicas, que en ocasiones forman farallones casi verticales. Los relieves más elevados de la zona presentan estas características: entorno del Puig des Galatzó, Serra des Puntals y los bordes de la Mola de Planícia. El margen oriental de la cuenca de Estellencs presenta también este grado de susceptibilidad a los desprendimientos rocosos, así como dos franjas más litorales, entre Banyalbufar y Hort de Planícia y al Oeste de la zona de estudio, que discurren de forma casi paralela a la carretera C-710 (Fig. 112).
- Las zonas donde se indica un grado medio de susceptibilidad a los desprendimientos rocosos, representan áreas con afloramientos de rocas duras y/o moderadamente duras en pendientes menores, entre 20°-35°. La generación de desprendimientos rocosos va a venir muy condicionada por el grado de fracturación del macizo rocoso, característica analizada en el trabajo de campo. Como se observa en el mapa de susceptibilidad (nº 8, Tomo II-Mapas), estas zonas son las de mayor extensión, caracterizando gran parte de los relieves carbonatados de la zona: Serra des Pinotells, Galatzó, Serra des Puntals, entorno de la cuenca de Banyalbufar.
- Las áreas caracterizadas con un grado bajo de susceptibilidad a los desprendimientos rocosos ocupan pequeñas extensiones en la zona de estudio, localizadas en afloramientos de macizos rocosos, poco fracturados, en pendientes

inferiores a los 20°. Destaca la base superior de la Mola de Planícia, que como su propio nombre indica, constituye una masa rocosa de bajo relieve.

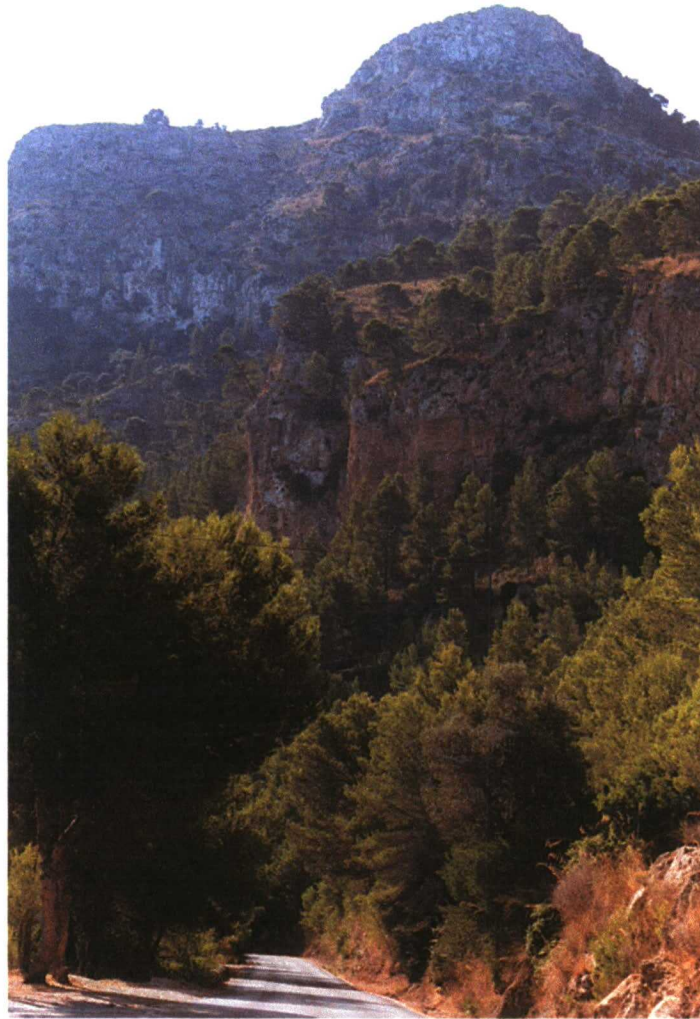


Fig. 112. Frente de desprendimientos rocosos en calizas liásicas. Carretera C-710, Coll des Pi (Estellencs)

## 2. Deslizamientos rotacionales en rocas

- Las áreas caracterizadas con un elevado grado de susceptibilidad a los deslizamientos en roca se limitan exclusivamente a los altos relieves de la Serra des Puntals, donde se han cartografiado grandes fracturas que afectan a los materiales liásicos.
- No se han caracterizado áreas con grado de susceptibilidad medio a este tipo de movimientos. En los relieves más suaves de la Serra des Pinotells, se han marcado áreas con un grado de susceptibilidad bajo. Se trata de áreas con desarrollo de epikarst que, en el poco probable caso de producirse deslizamientos, presentarían estas tipologías.



### 3. Deslizamientos complejos en suelos

- Las áreas marcadas con un elevado grado de susceptibilidad a la generación de este tipo de movimientos, constituyen afloramientos de materiales con comportamiento de suelos y/o rocas blandas: depósitos de derrubios de laderas, facies del Keuper muy alteradas en superficie, alternancia de margas y calcarenitas de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar. Las pendientes son muy elevadas, superiores a 25°. Destaca la franja litoral, al Oeste de Estellencs, donde afloran potentes depósitos de derrubios de ladera cuaternarios localmente sobre los materiales del Keuper. En la cuenca de Estellencs, la inestabilidad potencial de los materiales de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar, puede dar lugar a este tipo de movimientos. En la cuenca de Banyalbufar también se han caracterizado áreas de elevada susceptibilidad. Se trata de masas ya deslizadas sobre fuertes pendientes, que además actuarán con parámetros residuales de resistencia.
- Se han marcado como áreas con un grado medio de susceptibilidad a este tipo de inestabilidad, aquellas donde afloran materiales con comportamiento de suelos y/o rocas blandas, situados en pendientes entre 10°-25°. Se incluye la cuenca de asentamiento de la localidad de Estellencs, donde afloran los materiales de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar, que presentan valores bajos de resistencia al quedar expuestos en superficie. Los depósitos de derrubio de ladera y masas movilizadas ubicados en este intervalo de pendientes, ofrecen igualmente un grado intermedio de susceptibilidad, destacando la zona de Racò des Camp, Puig Gross y Hort de Planícia (entre las cuencas de Estellencs y Banyalbufar).
- Presentan un grado de susceptibilidad bajo a este tipo de movimientos, aquellas áreas de afloramientos de suelos y/o rocas blandas en relieves suaves, con pendientes inferiores a 10°. Se localizan en pequeñas extensiones en la cuenca de Estellencs, Banyalbufar y Hort de Planícia.

A modo de resumen puede afirmarse que la zona de estudio Estellencs- Banyalbufar presenta una inestabilidad potencial a los movimientos de ladera media-alta, donde los procesos de desprendimientos rocosos son predominantes sobre el resto de tipologías (Fig. 113).

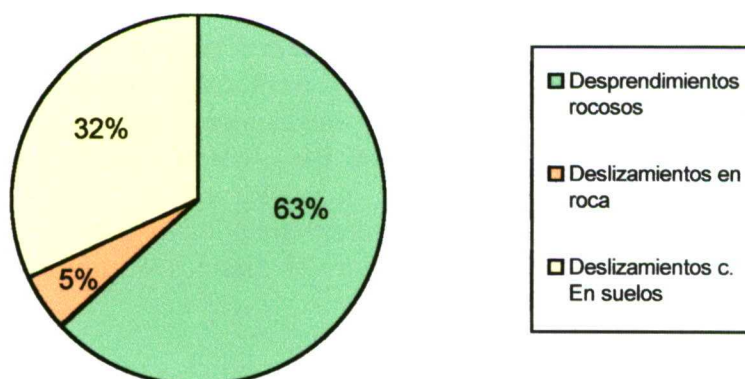


Fig.113. Distribución de la superficie de la zona Estellencs – Banyalbufar caracterizada con un grado medio-alto de susceptibilidad, según la tipología de los movimientos

### 9.3.2. – Mapa de susceptibilidad por movimientos de ladera en la zona de Esporles – Deià

En el mapa nº 16, Tomo II – Mapas, se representa la cartografía de susceptibilidad elaborada para esta zona, donde se observa lo siguiente ( Fig. 114):

- El 27% de la superficie de la zona presenta una inestabilidad potencial elevada.
- El 22% de la superficie de la zona presenta un grado medio de susceptibilidad a los movimientos de ladera.
- El 51% de la superficie de la zona presenta un grado de susceptibilidad bajo a los movimientos de ladera, es decir, son áreas potencialmente estables a este tipo de inestabilidades.

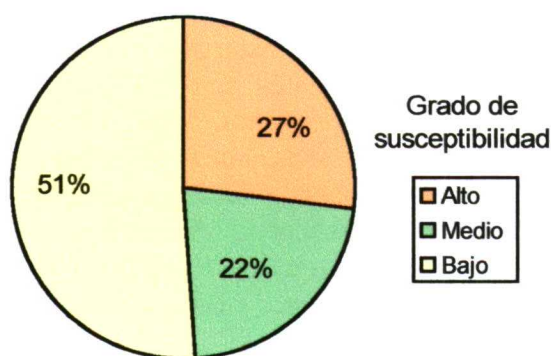


Fig. 114. Distribución de la superficie de la zona Esporles – Deià según el grado de susceptibilidad a los movimientos de ladera

A continuación se comenta el análisis de susceptibilidad realizado en esta zona según el tipo de movimiento.

#### 1. - Desprendimientos rocosos

- Las áreas marcadas con un elevado grado de susceptibilidad a los desprendimientos rocosos representan afloramientos rocosos, generalmente materiales del Lías, con un elevado grado de fracturación y en pendientes muy elevadas. Corresponden en la zona a paredes verticalizadas asociadas a frentes de cabalgamiento y / o escarpes de falla. Tal es el caso de los frentes de cabalgamiento en las Serras des Boixos y Son Moragues, bordes de la Mola de Son Pacs, Claret y Moleta de Son Cabaspre; y escarpes de falla en los límites de la cuenca del Port des Canonge (Fig. 115). También aparecen estos frentes de desprendimientos a lo largo de toda la franja costera, en el contacto entre los materiales liásicos e infraliásicos, dando lugar a potentes depósitos de derrubios que llegan hasta el mar.
- Las áreas caracterizadas con un grado medio de susceptibilidad representan afloramientos rocosos fracturados de rocas duras y/o moderadamente duras en pendientes intermedias. Constituyen en la zona áreas con modelado kárstico, tales como relieves superiores de la Serra de Son Moragues, Serra des Boixos, etc.



- Las áreas caracterizadas con un grado bajo de susceptibilidad a los desprendimientos rocosos presentan una elevada representatividad en la zona. Corresponden a afloramientos rocosos, mayoritariamente materiales liásicos, en topografías muy suaves (pendientes inferiores a  $10^\circ$ ). Ocupan la franja suroccidental de la hoja: cuenca de Esporles, Mola de Son Pacs, relieves circundantes de la depresión de Ses Roques y Pla del Rei, cuenca de Valldemossa; así como la franja de cimas de la Serra des Boixos y áreas litorales como Sa Pedrissa.



Fig. 115. Vista general del Port des Canonge. Frente de desprendimientos rocosos asociado a un escarpe de falla.

## 2. – Deslizamientos rotacionales en rocas

- Las áreas caracterizadas con un elevado grado de susceptibilidad a este tipo de movimientos se localizan en los bordes de la Serra des Boixos y la Galera, donde se han cartografiado grandes fracturas que afectan a los materiales liásicos, que pueden constituir los planos de rotura de estos posibles movimientos.
- Las áreas caracterizadas con un grado medio de susceptibilidad se localizan en el entorno del Puig des Caragoll de la Serra des Boixos y en el extremo occidental del Pla d'en Marc, en el margen más oriental de la hoja. Se trata de afloramientos rocosos liásicos afectados por fracturas a escala cartográfica, en pendientes inferiores a  $35^\circ$ .

### 3- Deslizamientos complejos en suelos

- Las áreas representadas que indican un elevado grado de susceptibilidad a este tipo de movimientos, corresponden principalmente a sedimentos recientes de tipo coluvial en pendientes superiores a  $25^\circ$ . Este hecho se observa en los márgenes de los principales relieves de la zona, donde los derrubios de ladera se encuentran en una situación patente de inestabilidad potencial. Pequeños afloramientos de litologías margosas de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar en elevadas pendientes también pueden dar lugar a este tipo de movimientos, tal y como se ha identificado en el entorno de Can Borrás, al NO de la localidad de Deià.
- Con un grado medio de susceptibilidad a este tipo de movimientos se han representado afloramientos de materiales con comportamiento de rocas blandas y suelos en pendientes intermedias, comprendidas entre  $10^\circ$ - $25^\circ$ . Destacan la Cuenca del Port des Canonge, donde los materiales finos alterados del Buntsandstein pueden tener este comportamiento; la cuenca de la Marina del Port de Valldemossa, donde afloran los sedimentos blandos del Keuper, así como las laderas que atraviesa la carretera C-710 desde Deià hasta Lluch- Alcari, donde potentes depósitos de derrubios se encuentran en estas condiciones intermedias de estabilidad.
- Con un grado bajo de susceptibilidad destaca la zona plana más extensa de la hoja, Son Ferrandell, Ses Roques, Pla des Rei, donde ha tenido lugar un desarrollo de suelos en condiciones de estabilidad.

Como conclusiones generales del análisis de susceptibilidad de la zona Esporles – Deià, puede indicarse que un 40% de la superficie de la zona presenta una inestabilidad potencial a los movimientos de ladera media-alta, siendo los desprendimientos rocosos los movimientos predominantes. Los deslizamientos en roca tipo pueden desencadenarse en áreas escarpadas de las Serras de Boixos y Galera, dependiendo estrechamente de la presencia de discontinuidades a gran escala en el macizo rocoso. Los movimientos complejos en suelos afectan principalmente a los derrubios de ladera que delimitan los relieves más destacados de la zona, así como la franja costera comprendida entre la Marina de Valldemossa y Cala Deià. La distribución de la superficie según la tipología de movimientos se representa en la figura 116.

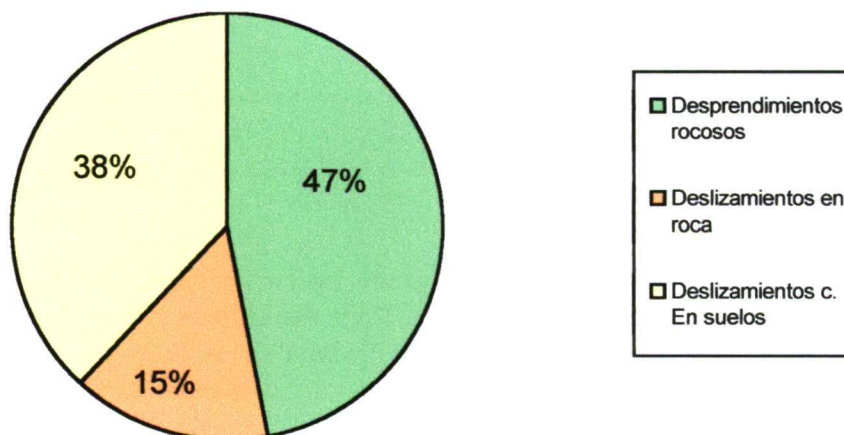


Fig. 116. Distribución de la superficie de la zona Esporles –Deià, caracterizada con un grado medio-alto de susceptibilidad, según tipología de los movimientos.



### 9.3.3. – Mapa de susceptibilidad por movimientos de ladera de la zona de Sóller

En el mapa nº 24, Tomo II – Mapas, se representa la cartografía de susceptibilidad elaborada para esta zona, donde se observa lo siguiente (Fig. 117):

- El 30% de la superficie de la zona presenta una inestabilidad potencial elevada
- El 40% de la superficie de la zona presenta un grado medio de susceptibilidad a los movimientos de ladera.
- El 30% de la superficie de la zona presenta un grado de susceptibilidad bajo a los movimientos de ladera. Son áreas potencialmente estables.

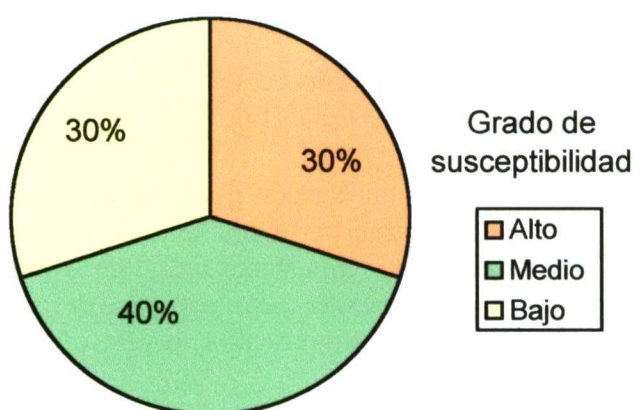


Fig. 117. Distribución de la superficie del área de Sóller según el grado de susceptibilidad a los movimientos de ladera

A continuación se comenta el análisis de susceptibilidad realizado para esta zona, tomando como base de partida el tipo de movimiento.

#### 1. Desprendimientos rocosos

- Las áreas marcadas con un elevado grado de susceptibilidad a los desprendimientos rocosos representan afloramientos de rocas duras y/o moderadamente duras con un elevado grado de fracturación, en pendientes muy elevadas (superiores a 35°). Generalmente corresponden a paredes rocosas asociadas a frentes de cabalgamientos, que superponen los materiales liásicos e infraliásicos sobre otro tipo de litologías. Los relieves más elevados de la zona se caracterizan por este grado elevado de inestabilidad potencial: Serra des Boixos, Serra de Alfàbia, Serra de Torelles, Sa Comuna y Sa Bassa. Los frentes litorales de Sa Costera y Bàltx ofrecen también un elevado grado de susceptibilidad a los desprendimientos rocosos.

- Las áreas caracterizadas con un grado medio de susceptibilidad, representan afloramientos rocosos fracturados de rocas duras y/o moderadamente duras, en pendientes medias ( $10^{\circ}$ - $35^{\circ}$ ). Constituyen en la zona áreas con un modelado kárstico dominante, tales como Montcaire y Serra des Boixos, o bien macizos rocosos con pendientes intermedias, como ocurre en las áreas marcadas de las Serras de Alfàbia y Son Torrella.
- Las áreas caracterizadas con un grado bajo de susceptibilidad representan extensiones de afloramientos rocosos en topografías muy suaves (pendientes inferiores a  $10^{\circ}$ ). Este hecho ocurre en el entorno del Port de Sóller, zonas altas de la Serra de Alfàbia, y áreas con desarrollo de lapiaces como Montcaire y Serra des Boixos.

## 2. Deslizamientos rotacionales en rocas

Este tipo de movimientos tiene gran importancia en la zona, ya que determinan en gran medida la configuración actual del paisaje (Fig. 118).

- Las áreas caracterizadas con un elevado grado de susceptibilidad se concentran en una franja que coincide en gran parte con la divisoria de aguas de las sierras de Alfàbia y Es Puntals, así como en la franja litoral de la zona. Se trata de materiales rocosos, principalmente liásicos, afectados por grandes fracturas que constituyen los planos de rotura de este tipo de movimientos, de gran envergadura en la zona.



Fig. 118. Vista general del Valle de Sóller. Al fondo la Serra de Alfàbia (Puig de L' Ofre, 1081 m).



- Las áreas caracterizadas con un grado medio de susceptibilidad se representan en dos zonas: una litoral, comprendida entre el Puig de Bàlix y Sa Costera, donde se han cartografiado grandes fracturas que afectan a los materiales liásicos e infraliásicos, en pendientes inferiores a 35° y otra zona localizada en los relieves más septentrionales de la Serra de Son Torella (en las cercanías del Puig de S'Alzinar), donde se dan las condiciones expuestas anteriormente.

### 3.- Deslizamientos complejos en suelos

- Las áreas representadas que indican un grado elevado de susceptibilidad corresponden principalmente a sedimentos aluviales y coluviales recientes, sin consolidar y en pendientes superiores a 25°. Constituyen los márgenes de las sierras, y en ocasiones se disponen sobre un sustrato blando (materiales del Keuper y/o Muschelkalk) lo cual incrementa la inestabilidad. Destacan los depósitos de ladera que bordean el Valle de Sóller. También se han representado con este grado de susceptibilidad aquellas masas ya deslizadas en pendientes superiores a 25°, destacando los grandes deslizamientos cartografiados en el litoral de Bàltx y Sa Costera.
- Con un grado medio de susceptibilidad a este tipo de movimientos se han representado afloramientos de materiales con comportamiento de suelos en pendientes comprendidas entre 10°-25°. Se concentran básicamente en los extremos inferiores de las laderas que bordean el Valle de Sóller.
- Con un grado bajo de susceptibilidad se han representado afloramientos de materiales con comportamiento tipo suelos en áreas de bajo relieve, con pendientes inferiores a 10°. Destaca el Valle de Sóller que se asienta sobre los materiales blandos del Keuper y Muschelkalk.

Como conclusiones del análisis de susceptibilidad de la zona de Sóller (Fig.119), puede establecerse que un 70% de la superficie presenta una inestabilidad potencial a los movimientos de ladera media-alta, siendo los desprendimientos rocosos los movimientos predominantes. Los deslizamientos complejos en suelos pueden tener lugar en zonas amplias, localizadas principalmente en las laderas que bordean el valle de Sóller. Los deslizamientos rotacionales en roca están directamente relacionados con la existencia de discontinuidades a gran escala, localizados en la franja costera y zonas altas y pendientes de las sierras.

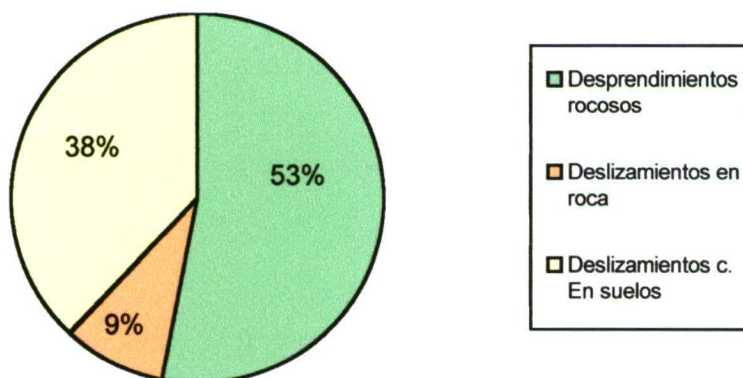


Fig.119. Distribución de la superficie de la zona de Sóller, caracterizada con un grado medio-alto de susceptibilidad, según tipología de los movimientos.

9.4. - ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD

El análisis de susceptibilidad tiene como finalidad localizar espacialmente aquellas zonas con una inestabilidad real y potencial a los movimientos de ladera. Del conjunto de las tres zonas analizadas, y teniendo en cuenta las diferencias de extensión entre ellas, la zona de Sóller presenta mayor superficie caracterizada con un grado alto de susceptibilidad, seguida de la zona de Esporles- Deià y por último la de Estellencs – Banyalbufar (Fig.120a). Respecto a la distribución de superficie caracterizada con un grado medio de susceptibilidad, destaca la zona de Sóller, seguida de la zona Estellencs – Banyalbufar y en último lugar la zona Esporles – Deià (Fig. 120b). Ésta última zona es la que presenta mayor superficie caracterizada con un grado bajo de susceptibilidad, seguida de la de Sóller y en último lugar la de Estellencs – Banyalbufar (Fig.120c).

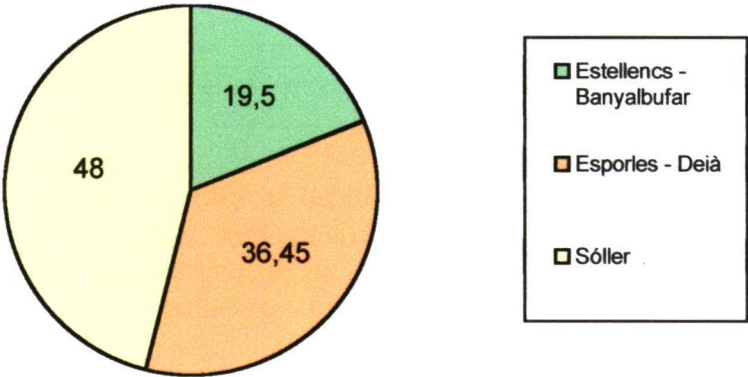


Fig. 120a. Superficie en Km<sup>2</sup> caracterizada con un grado alto de susceptibilidad, según las tres zonas definidas en el trabajo.

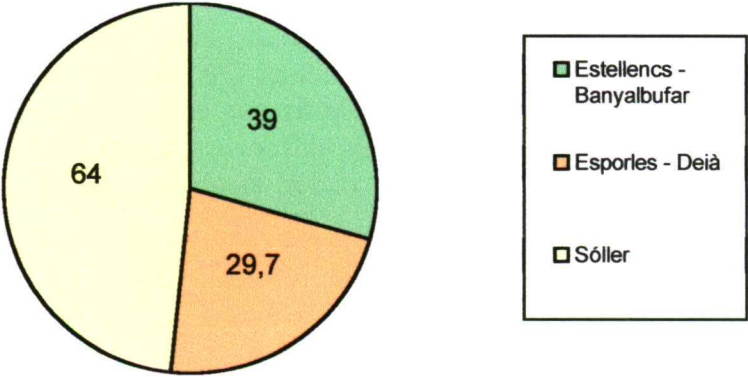


Fig. 120b. Superficie en Km<sup>2</sup> caracterizada con un grado medio de susceptibilidad, según las tres zonas definidas en el trabajo.

La zona de Sóller, la más septentrional de las tres, es la que presenta mayor grado de inestabilidad potencial a los movimientos de ladera, seguida de la zona



Estellencs – Banyalbufar que, a pesar de su reducida extensión, las áreas caracterizadas con un grado medio – alto de susceptibilidad superan el 85% de su superficie. La zona potencialmente más estable corresponde a Esporles – Deià, donde más del 50% de su superficie se ha caracterizado con un grado bajo de susceptibilidad.

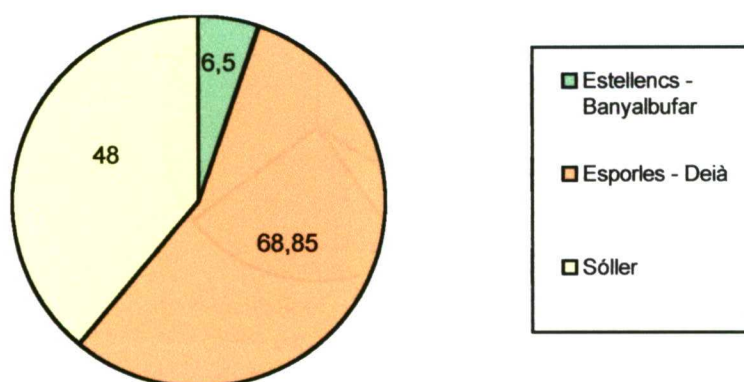


Fig. 120c. Superficie en Km<sup>2</sup> caracterizada con un grado bajo de susceptibilidad, según las tres zonas definidas en el trabajo.

Como conclusión general del análisis de susceptibilidad realizado en la zona de estudio, puede establecerse que un 29% (104 Km<sup>2</sup>) de la superficie total se ha caracterizado con un elevado grado de susceptibilidad, frente a un 37% (132,7 Km<sup>2</sup>) de superficie caracterizada con un grado medio y un 34% (123,3 Km<sup>2</sup>) con un grado bajo (Fig. 121). Estas cifras ponen de manifiesto la elevada inestabilidad potencial que presentan los relieves de la Serra Norte de Mallorca.

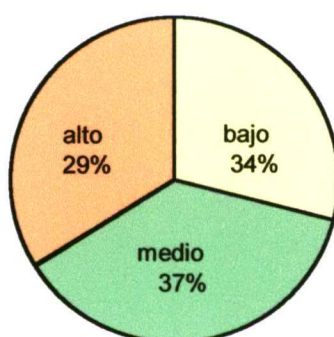


Fig. 121. Porcentaje de la superficie total (360 Km<sup>2</sup>) según grados de susceptibilidad

Respecto al tipo predominante de movimiento de ladera, destacan los desprendimientos rocosos que pueden afectar a un 35% de la superficie total de la zona de estudio. En

segundo lugar los deslizamientos complejos en suelos, que pueden generarse en cerca de un 25% de la superficie de la zona y en menor medida los deslizamientos rotacionales en roca, muy localizados en el área de estudio. Esta distribución puede observarse en la Fig. 122.

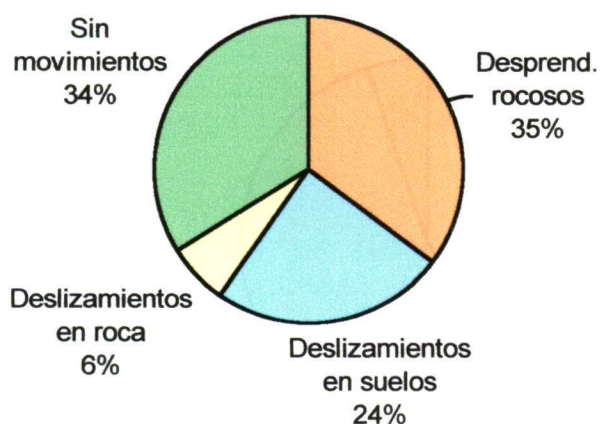


Fig. 122. Distribución de la superficie total de la zona de estudio, según el tipo de movimiento que potencialmente puede generarse. Un 34% de la superficie total presenta un grado bajo de susceptibilidad a la generación de movimientos de ladera.

En la Figura 123, se representa un mapa general de susceptibilidad de las tres zonas analizadas en la Serra de Tramuntana, donde se observa un aumento del grado de susceptibilidad a los movimientos de ladera hacia el NE principalmente y SO.



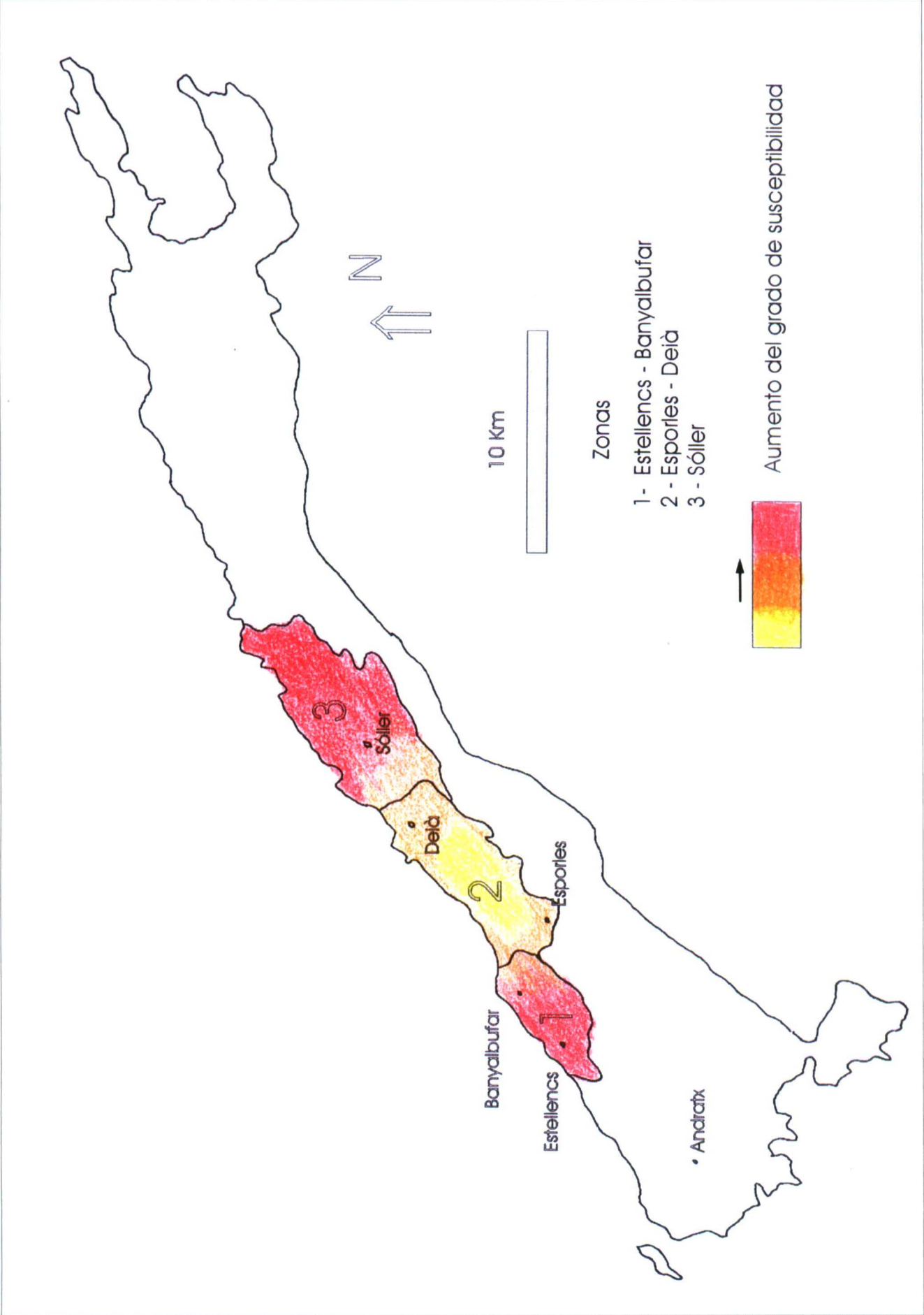


Fig. 123. Mapa general de Susceptibilidad

## **CAPÍTULO 10**

### **EVALUACIÓN DE LA PELIGROSIDAD**

#### **10.1. – FACTORES DESENCADENANTES**

##### **10.1.1. - Introducción**

En el Capítulo 7 de este trabajo se han analizado los diferentes factores condicionantes de la estabilidad, es decir, aquellos intrínsecos al material que influyen y condicionan el comportamiento del terreno, como son la litología, estructura geológica, pendientes, hidrogeología etc.

La actuación de factores desencadenantes externos sobre la ladera ocasionan modificaciones en sus condiciones de estabilidad. La aplicación de cargas estáticas, cargas dinámicas (movimientos sísmicos naturales y/o inducidos), modificaciones en las condiciones hidrogeológicas del material y variaciones en la geometría del talud, producen la disminución de los parámetros de resistencia del material que constituye el talud o la ladera y/o el aumento de las fuerzas desestabilizadoras que provocan la rotura.

Los factores desencadenantes son responsables, en gran medida, de la magnitud de los movimientos; mientras que los factores condicionantes configuran las diferentes tipologías, mecanismos y modelos de rotura.

Diversos autores como VARNES (1984), BRABB (1984), CARRARA (1984), CRUDEN & VARNES (1996), LOMOSCHITZ y COROMINAS, J. (1997), DÍAZ TERÁN, J.R. et al. (1998), GONZÁLEZ, A. et al. (1999) han llevado a cabo análisis y estudios sobre la influencia de diferentes factores en la ocurrencia de movimientos de laderas, haciendo hincapié en la necesidad de cuantificar, en la medida de lo posible, la influencia de cada factor.

El análisis de los factores desencadenantes permite determinar la potencialidad del fenómeno y obtener en cierto grado una respuesta a cuándo puede producirse la inestabilidad. Esta predicción temporal será la clave para poder llevar a cabo una análisis de la *peligrosidad* de la zona de estudio a los movimientos de ladera.

A partir de las investigaciones y trabajos de campo realizados, se plantean los siguientes factores desencadenantes de la inestabilidad:

- Clima y meteorología
- Sismicidad
- Erosión litoral
- Actividad humana: minería, construcción y obras públicas

A continuación se analiza cada uno de ellos.



## 10.1. 2. – Clima y meteorología

La Serra de Tramuntana se encuentra dentro del ámbito del clima mediterráneo. Se trata de un clima templado con veranos cálidos e inviernos suaves y un déficit pluviométrico muy acusado en los meses estivales. El clima de esta cadena montañosa viene controlado por dos tipos de circulación atmosférica:

- Durante el invierno, una circulación de poniente asociada a las bajas presiones del frente polar, produce las variaciones típicas en esta estación: vientos procedentes del sudoeste, con temperaturas suaves y episodios nublados y lluviosos, que se alternan con otros de buen tiempo; o bien vientos procedentes del norte y nordeste, asociados a bajas temperaturas (producen heladas nocturnas) ligados al anticiclón eurasiático invernal. En ocasiones, estos vientos procedentes del Norte generan los fuertes temporales, especialmente durante el otoño y comienzos del invierno; y otras veces, vienen acompañados de cielos muy despejados y de gran transparencia.
- Durante el verano, una circulación ligada a las altas presiones subtropicales y al ascenso latitudinal del anticiclón de las Azores, mantiene los cielos despejados y permite que la mayor parte de la radiación solar llegue a la superficie terrestre. Se produce durante esta estación una combinación de temperaturas elevadas y precipitaciones prácticamente nulas.

Dentro de este esquema general, la topografía de la Serra de Tramunta sobreimpone las variaciones climáticas típicas de las zonas montañosas: A mayores altitudes, aumentan las precipitaciones y disminuye la temperatura. De esta forma, en el núcleo central más elevado de la Serra de Tramuntana (área de Lluc), las precipitaciones anuales pueden ser superiores a los 1200 mm, mientras que hay áreas del litoral meridional (Andratx, Calvià) que no superan los 400 mm anuales (Fig. 124).

En conjunto, el régimen de precipitaciones en la Serra de Tramuntana presenta valores máximos durante el otoño, especialmente a finales de septiembre y durante el mes de octubre. Sigue un invierno medianamente lluvioso y una primavera progresivamente más seca, hasta llegar a un verano prácticamente seco, con períodos superiores al mes sin registrar ningún tipo de precipitación. En la Figura 125, se ha representado la distribución mensual de la precipitación en diferentes puntos a lo largo de la Serra para un año pluviométrico normal. Se observan claramente dos picos: uno más acusado a finales del otoño y principios del invierno, y otro de menor entidad en los meses primaverales.

El aspecto más importante del régimen de precipitaciones de la zona de estudio es que éstas se concentran en muy pocos días, con precipitaciones máximas en 24 horas superiores a 300 mm en algunos casos. En el Cuadro 1, donde se recogen los movimientos de ladera que han tenido lugar, se observa que algunos de ellos se han producido tras la ocurrencia de lluvias máximas en 24 horas de hasta 350 mm (Deià, 1978). A modo de ejemplo, se ha representado la precipitación máxima anual en 24 horas registrada durante los últimos 48 años en la estación meteorológica B061 de Sóller (Fig. 126).



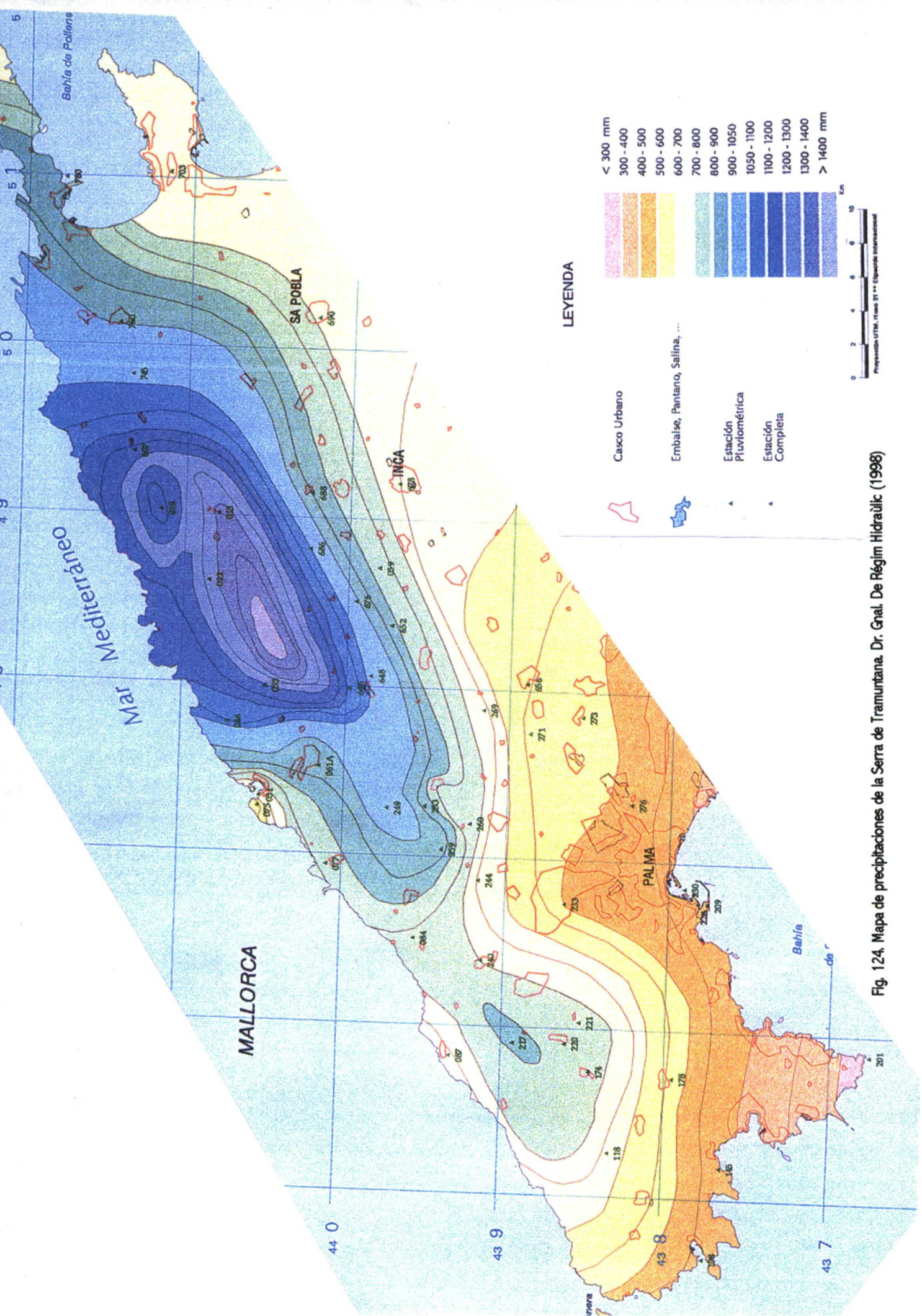


Fig. 124. Mapa de precipitaciones de la Serra de Tramuntana. Dr. Gnal. De Régim Hidráulic (1998)



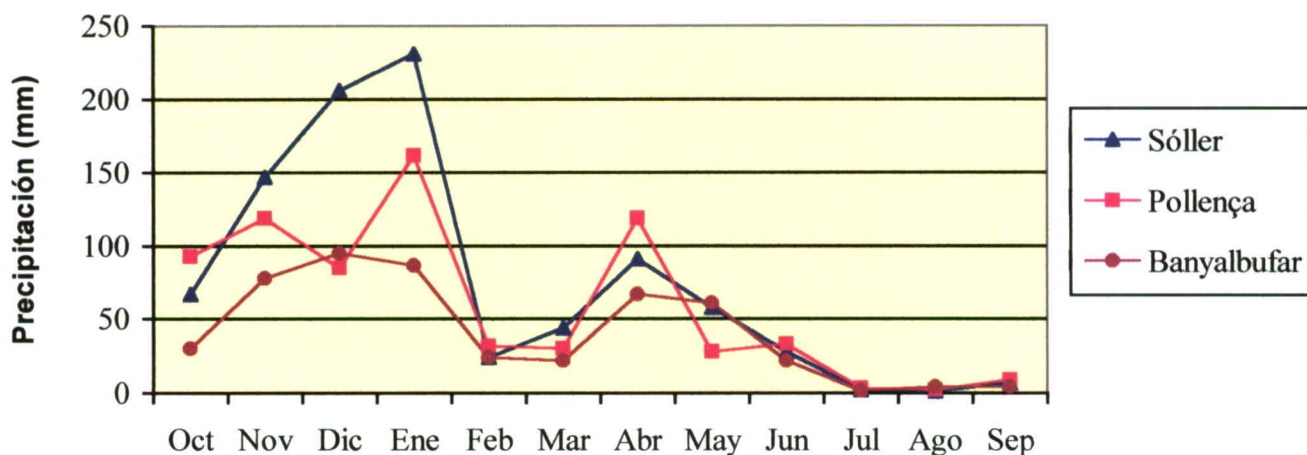


Fig. 125. Distribución mensual de precipitaciones (mm) en diferentes puntos de la Serra de Tramuntana para un año medio (1980).

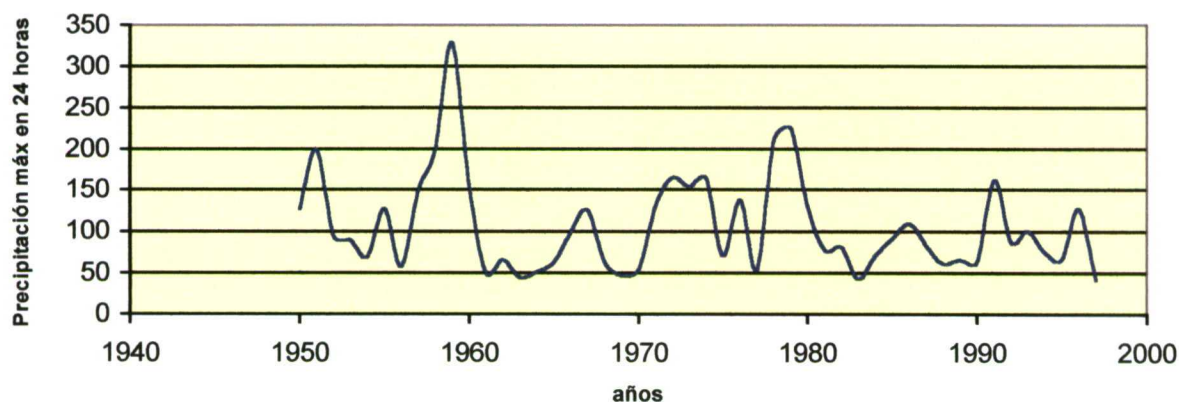


Fig. 126. Registro de Precipitaciones máximas en 24 horas anuales (mm) en la Estación Meteorológica B061- Sóller

En la Figura 127 se representa las precipitaciones máximas en 24 horas mensuales durante el año 1952 (año lluvioso, con serie de precipitaciones casi completa en todas las estaciones) registradas en diferentes estaciones de la Serra de Tramuntana (ver ubicación de Estaciones meteorológicas en Fig. 134). Se observan valores máximos en el mes de enero y en menor cuantía en los meses de septiembre y noviembre. La estación más septentrional, B061- Sóller, registra los valores más elevados.

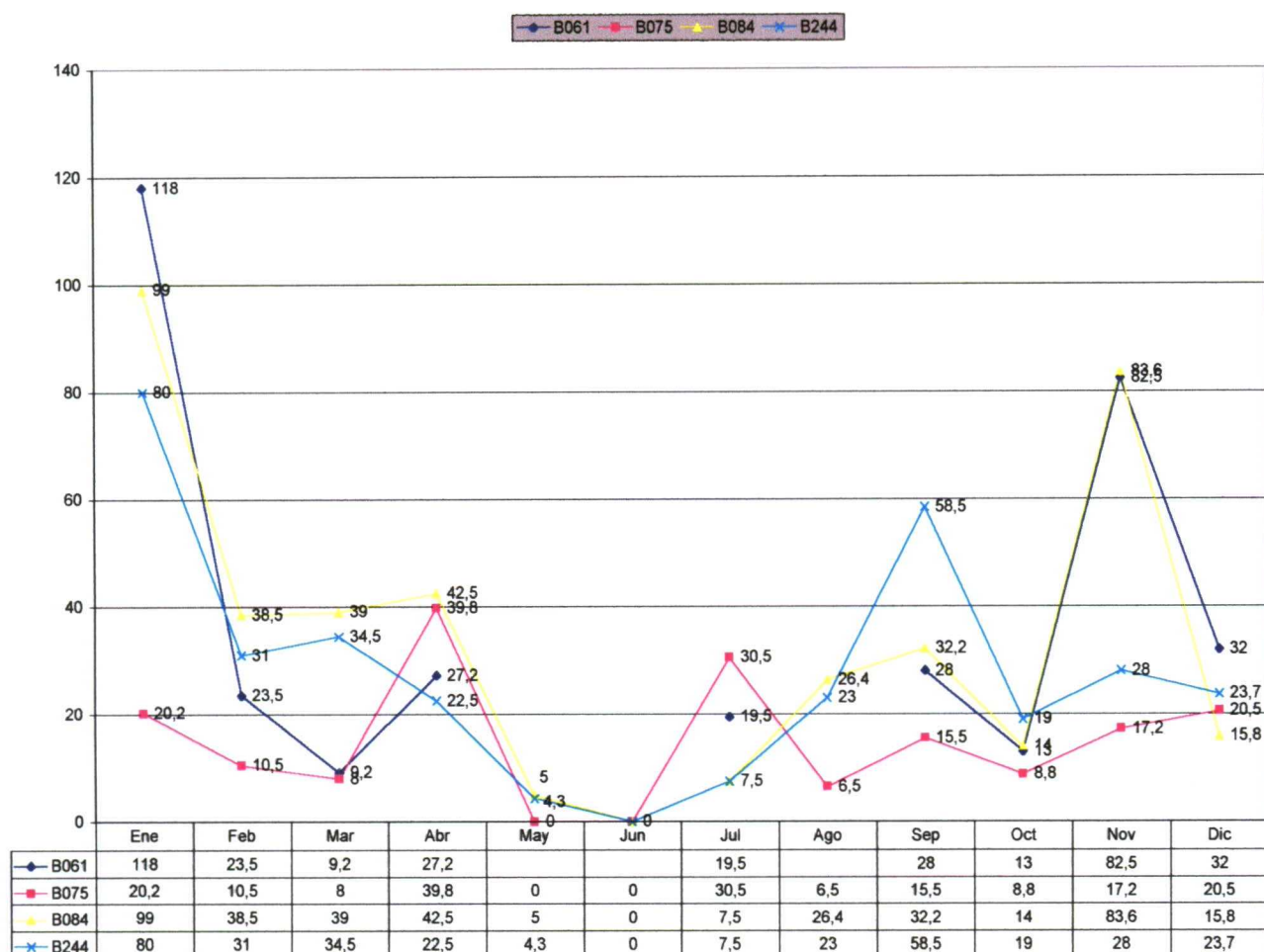


Fig. 127. Precipitaciones (mm) máximas en 24 horas mensuales durante el año 1952 registradas en diferentes Estaciones de la Serra de Tramuntana. B061- Sóller, B075-Punta Grossa, B084 – Son Mas, B244 – Son Pacs. MORALES, 1999 (sin publicar)

En el análisis de las precipitaciones como factor desencadenante de los movimientos de ladera es muy importante tener en cuenta la *lluvia acumulada*, especialmente en terrenos con comportamiento geomecánico tipo suelos, ya que con el aumento del contenido de agua, disminuyen progresivamente las presiones efectivas en el material hasta vencer su resistencia al corte. Si se observa el Cuadro 1 (Capítulo 1), las transcripciones bibliográficas de numerosos deslizamientos dan como origen de los mismos a la ocurrencia de temporales de lluvias y lluvias continuadas. A modo de ejemplo se ha analizado el deslizamiento que tuvo lugar en el Coll de Sóller el 18 de febrero de 1987, que afectó a sedimentos coluviales cuaternarios superpuestos a materiales del Keuper. Los tres días anteriores a la ocurrencia del deslizamiento se registraron precipitaciones máximas en 24 horas de hasta 82,7 mm, con un total de lluvia acumulada de 271,2 mm.

Respecto a las temperaturas, éstas se distribuyen desde una media mínima mensual en invierno de 4°C, hasta unas medias máximas en verano cercanas a los 29°C. Estas cifras reflejan aproximadamente la situación alrededor de la cota 500 m en la Serra. La distribución espacial de las temperaturas en la Serra de Tramuntana, además del control



altitudinal, parece estar muy ligada al control geográfico (orientación respecto a la radiación solar, valles al abrigo de los vientos etc.). Tal es el caso del Valle de Sóller, rodeado de altas montañas y al abrigo de los vientos, con un clima tan suave que durante siglos ha sido famoso por su producción de cítricos. En la Figura 128 se representa la distribución mensual de la temperatura media para diferentes estaciones de la Serra de Tramuntana, durante un año con un régimen de temperaturas normal.

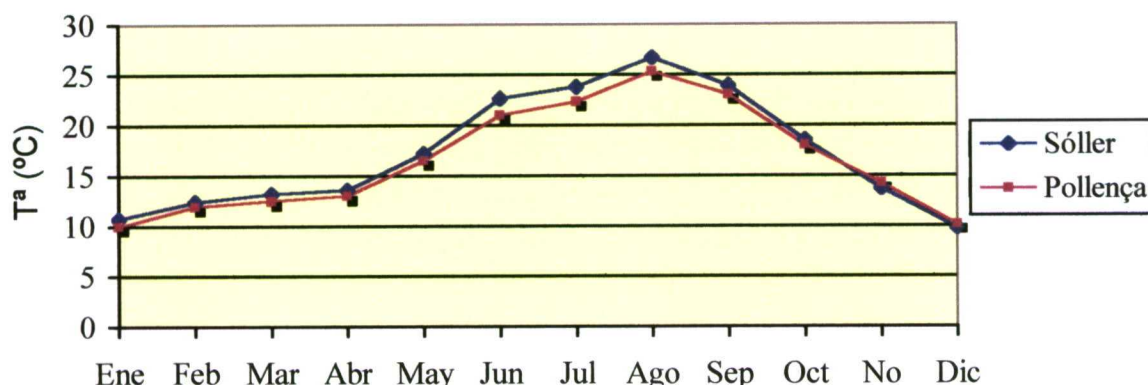


Fig. 128 . Temperatura media mensual registrada en las Estaciones B061- Sóller y B745 - Pollença. Año 1995.

### 10.1.3. – Sismicidad

La sismicidad puede constituir uno de los principales factores desencadenantes de grandes deslizamientos. La aceleración vertical y horizontal de las ondas sísmicas modifica el estado natural de esfuerzos del terreno y por lo tanto puede alterar el equilibrio de las laderas y taludes.

El factor sísmico de mayor incidencia en los movimientos de laderas es la intensidad de la sacudida y en segundo lugar la duración. Valores de intensidad superiores a VII pueden provocar movimientos de relativa importancia.

En el Apartado 4.3 de este trabajo, queda patente la existencia de una sismicidad moderada – baja en el Archipiélago Balear. En la Isla de Mallorca, la sismicidad instrumental durante los últimos 30 años revela terremotos de magnitud en la escala de Richter inferior a 4,5. Los epicentros de los terremotos se localizan en la Depresión Central de la isla, asociados a la falla de Sencelles y a otras paralelas a ella a lo largo de toda la Depresión.

En la Serra de Tramuntana no hay sismicidad histórica ni registrada, aunque este hecho puede deberse al aislamiento y despoblamiento de la zona durante siglos.

En relación a la correlación de la sismicidad con la ocurrencia de movimientos de ladera en la isla, existe una cita bibliográfica de FONTSERÉ (1918) indicando que el deslizamiento de la ladera de Biniarroy de Mancor del Valle, ocurrido el 24 de marzo de 1721, fue causado por un terremoto de intensidad superior a VII en la escala de Mercalli. Cabría preguntarse si fue el estruendo del deslizamiento lo que hizo suponer a la población del entorno la ocurrencia de este terremoto.

El desencadenamiento de los grandes deslizamientos rotacionales en roca antiguos cartografiados en la zona de estudio, podrían tener alguna relación con episodios sísmicos del pasado.

Sin embargo, los desprendimientos rocosos y movimientos complejos en suelos, de edad más reciente, tienen un claro control meteorológico, relacionados con la ocurrencia de lluvias intensas en la zona.

#### 10. 1. 4. – Erosión litoral

El litoral constituye, desde el punto de vista geológico, un medio muy activo sobre el que actúan procesos de diferente naturaleza: sedimentarios, tectónicos, eustáticos etc. Las vertientes litorales sometidas a la acción del oleaje son probablemente las zonas que sufren un proceso desestabilizador más rápido.

La zona de estudio se caracteriza por una costa muy abrupta con espectaculares acantilados al mar. Se trata de un litoral muy activo, donde predominan sin duda alguna los procesos erosivos sobre los sedimentarios, lo que se traduce en la casi total inexistencia de playas.

La acción del oleaje como factor desencadenante de los movimientos de taludes costeros no deja lugar a dudas. En el capítulo 5 de este trabajo ha quedado manifiesto que los frentes de oleaje de procedencia NE y N son los más energéticos; incidiendo de forma subparalela y oblicua sobre el litoral. Son los temporales del Norte y Noreste los más incisivos sobre la costa, erosionando la base de los acantilados con mayor virulencia.

La naturaleza litológica del acantilado va a condicionar el tipo de movimiento que se produce, predominando los colapsos, vuelcos y desplomes por la socavación efectuada por el oleaje en la base del talud (Fig. 129). No obstante, en rocas blandas y materiales con comportamiento de suelos, se han observado movimientos de tipo rotacional (Fig.35. Capítulo 5) e incluso pequeños flujos.

Los desprendimientos rocosos pueden ser de gran volumen y cientos de toneladas de peso. La removilización de estos bloques desprendidos por el oleaje y su golpeo sobre la base del acantilado, produce una acción erosiva aún mayor, contribuyendo a la desestabilización del talud costero. Este hecho hace que la costa objeto de estudio sea prácticamente inaccesible.



La cota de acantilados activos en algunas zonas de esta costa alcanza los 300 m, con paredes muy verticalizadas. En los mapas de susceptibilidad se ha diferenciado la franja costera de acantilados activos, con la ocurrencia de numerosos fenómenos inestables en la actualidad. Los acantilados más espectaculares aparecen en el tramo de costa más septentrional, donde afloran macizos carbonatados de gran dureza, calizas, brechas calcáreas y dolomías liásicas predominantemente.



Fig. 129. Deslizamiento en acantilado de cala S'Estaca (Valldemossa).

Se desconocen tasas de retroceso de acantilados según litologías. No obstante, existe gran número de edificaciones a lo largo de la costa que han quedado “colgadas” por este fenómeno natural (Fig. 130). La inexistencia de una normativa de protección del litoral desde principios de la era turística, ha condicionado la construcción sobre los acantilados costeros sin prever la evolución natural de los mismos

Un riesgo importante ligado a la dinámica litoral lo constituye la afluencia turística a las pequeñas calas que existen a lo largo de la costa (Fig. 131). Se trata de reducidos entrantes del mar en litologías más blandas o a la salida de cursos torrenciales, que sufren una gran presión humana durante los meses estivales, ya que son los únicos puntos de baño en este litoral (excepto el Port de Sóller). Recientes problemas de desprendimientos rocosos en la cala de Banyalbufar (FERRER et al., 1997), cala de Deià (MATEOS, 1998), cala del Oratori en Portals Nous, etc., ponen de manifiesto esta problemática que se traduce en la prohibición de acceso a la cala (cala Banyalbufar) o en la adopción de medidas para evitar futuras inestabilidades (cala Oratori).





Fig. 130. Ses Llegítimes, costa de Deià. Escalera de acceso al mar cortada por la erosión del acantilado

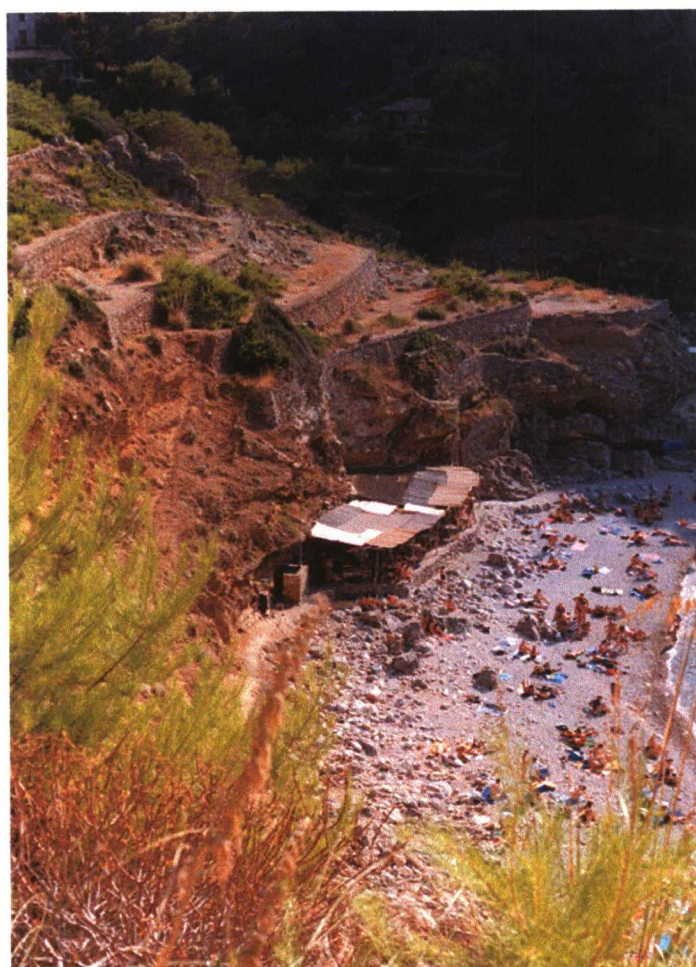


Fig. 131. Acantilado de Cala Deià



### 10.1.5. - Actividad humana

La actividad humana constituye una de las principales causas de los movimientos de taludes. Aunque éstos suelen tener menor entidad que los producidos por causas naturales, los daños que ocasionan pueden ser considerables.

En la Serra de Tramuntana, las acciones antrópicas que pueden tener una incidencia directa en la estabilidad de los taludes son la construcción y obras civiles, y en menor grado las actividades mineras.

#### a) *Construcción y obras civiles*

La llegada del turismo a la isla de Mallorca ha supuesto un notable incremento en el sector de la construcción y en las obras civiles. En la zona de estudio este “boom” de la construcción se ha revitalizado en los últimos cinco años, con la creación de numerosas urbanizaciones, chalets, rehabilitación de antiguas “posessions” etc. De forma paralela, la necesidad de dotar a la zona con las infraestructuras necesarias, ha supuesto la apertura de nuevas carreteras, mejora de las existentes, construcción de redes de saneamiento, alumbrado etc. Cabe resaltar la apertura del túnel de Sóller en el año 1998, que permite una rápida vía de comunicación entre esta localidad y la ciudad de Palma de Mallorca.

La actividad humana que se deriva de la construcción y obras civiles constituye un factor desencadenante de movimientos de taludes y laderas en la Serra de Tramuntana. Esta actividad genera:

1. Excavaciones superficiales y subterráneas: producen una variación del estado de equilibrio del terreno, que se traduce en subsidencias, descargos de potenciales superficies de deslizamiento y desequilibrio de masas.
2. Sobrecargas: La construcción de rellenos y terraplenes implica un incremento de peso sobre el terreno natural que se traduce en un incremento de los esfuerzos cortantes y en una disminución de su resistencia.
3. Modificación de las condiciones hidrogeológicas: Las alteraciones de las redes naturales de drenaje y otros aspectos como las fugas en redes de abastecimiento y saneamiento generan un aumento de agua en el terreno y consecuentemente un aumento de las presiones intersticiales en éste, condicionando la estabilidad de la ladera, especialmente si se trata de suelos con un elevado contenido en arcilla.
4. Voladuras: Las vibraciones producidas por las voladuras actúan como pequeños sismos. La onda de compresión origina la apertura de grietas radiales alrededor de la carga y la de tracción fragmenta el material. Como consecuencia se amplía la red de fracturación existente en el terreno, creando nuevas superficies de rotura.

La red viaria más importante en la Serra de Tramuntana es la carretera C-710, que discurre de forma paralela a la costa, atravesando de SW (Calvià) a NE (Pollença) la cadena montañosa. Se trata de una carretera de montaña que discurre por una abrupta orografía, lo que unido a las características geomecánicas de los materiales atravesados,

determina la existencia de numerosos problemas geotécnicos en los taludes. Las obras de mejora y ampliación de esta carretera en el tramo que une las localidades de Sóller y Deià comenzaron en septiembre de 1995 y finalizaron en 1997. Actualmente se observa numerosos movimientos en los taludes con diferentes tipologías:

- Movimientos rotacionales y flujos en las litologías atravesadas del Keuper
- Movimientos rotacionales en derrubios de ladera recientes.
- Desprendimientos rocosos por descalce de la base del talud en macizos rocosos.

El coste de mantenimiento de esta carretera es el más elevado de la isla por las medidas adoptadas de corrección de taludes: muros de sostenimiento, de contención, de revestimiento etc. (Fig.132).



Fig. 132. Medidas de corrección de taludes. C-710, Km.88.5 (frente Atalaya de Banyalbufar). Muro de revestimiento y mallas textiles. Talud en derrubios de ladera cuaternarios.

La carretera de acceso a Sa Calobra (PMV-2141), con un tortuoso trazado que salva un desnivel de más de 600 m en 13 kilómetros de recorrido, recibe una afluencia diaria de más de 4000 turistas. En septiembre de 1997, una avalancha de rocas cortó durante dos días la carretera, teniendo que ser evacuados los turistas por vía marítima. La ocurrencia de desprendimientos rocosos por las carreteras de la Serra de Tramuntana es un hecho constante, implicando un elevado riesgo para los miles de vehículos diarios que circulan por ellas.



Los taludes de carretera han sido de gran utilidad para realizar el inventario de movimientos a pequeña escala para el presente trabajo, caracterizando las diferentes tipologías que aparecen según las litologías y la evolución de la masa desplazada. En las fichas de inventario recogidas en el Anexo I de este trabajo se recoge la caracterización de estos movimientos, localizados en los mapas morfogenéticos e inventario ( Mapas nºs 5, 13, 21, Tomo II - Mapas) de las tres zonas de estudio.

#### *b) Actividades mineras*

La minería actual de la isla de Mallorca, de escasa relevancia, se limita prácticamente a la extracción de materiales para la construcción. Destacan las canteras que explotan las areniscas cementadas del Pleistoceno, popularmente conocido como “marés”, muy utilizado en sillería.

En la Serra de Tramuntana, los materiales del Triásico medio-superior y Jurásico han sido y son explotados intermitentemente para la extracción de áridos para la construcción. Se trata de pequeñas canteras que explotan las dolomías del Muschelkalk (Port des Canonge), calizas y dolomías del Lías (Son Puig en Valldemossa) y dolomías del Rethiense (Ses Mosqueres en Esporles).

En aquellas zonas donde afloran los sedimentos yesíferos del Keuper existen pequeñas canteras, ya abandonadas, donde se extraían yesos para la construcción. Existe gran número de ellas a lo largo de la Serra, especialmente en los afloramientos de Keuper en el entorno de la localidad de Sóller (Fig.133).

Los niveles de areniscas de la Formación Turbidítica de Banyalbufar son explotados, en el entorno de las localidades de Estellencs y Banyalbufar, para la extracción de lajas utilizadas como piedra ornamental.

La actividad minera como factor desencadenante de movimientos de taludes en la zona de estudio tiene muy poca relevancia, limitándose a movimientos de muy poca envergadura y localizados en los taludes excavados.



Fig. 133. Cantera abandonada de Ca'n Bleda (t.m. Sóller). Antigua explotación de yesos en los materiales del Keuper.

## **10.2. - ANÁLISIS DE LAS PRECIPITACIONES**

### **10.2.1. - Introducción**

Tomando como base de partida la recopilación de aquellos movimientos de ladera históricos de los que ha quedado constancia bibliográfica (Cuadro 1, Capítulo 1) y el inventario de movimientos de ladera realizado para el presente trabajo, se observa claramente que el principal factor desencadenante de los movimientos más recientes en la zona de estudio ha sido la ocurrencia de intensas lluvias.

Como se ha analizado en capítulos anteriores, las precipitaciones que afectan a la Serra de Tramuntana son de carácter torrencial y se concentran en muy pocos días durante los meses de otoño e invierno principalmente. Se han registrado precipitaciones máximas en 24 horas superiores a 300 mm.

La constatación de intensas precipitaciones como el principal factor desencadenante de los fenómenos de inestabilidad, determina que el análisis de la peligrosidad por movimientos de ladera en la Serra de Tramuntana se realice en base a este factor. No obstante, no se desestima la importancia que puedan tener otros factores analizados previamente, tales como la actividad humana, la erosión litoral o posibles movimientos sísmicos.

La erosión litoral constituye el principal factor desencadenante de movimientos en taludes costeros que afectan a la franja de acantilados, localmente hasta la cota 200 m. La capacidad erosiva del oleaje está directamente relacionada con la ocurrencia de temporales en la costa. El control meteorológico es el responsable en última instancia de la generación de éstos movimientos.

Correlacionado las fechas conocidas de ocurrencia de movimientos de ladera con los datos de precipitaciones de las estaciones meteorológicas más cercanas al lugar de la inestabilidad, se ha elaborado el Cuadro 35, donde se indican los valores de precipitaciones máximas registradas en 24 horas relacionadas temporalmente con la ocurrencia de los diferentes movimientos. Obsérvese que se indican únicamente los movimientos de ladera ocurridos a partir de la década de los 70, ya que en fechas anteriores no se tiene registro de datos meteorológicos. Es importante resaltar que en la mayoría de las crónicas recopiladas de movimientos de ladera, se indica que han tenido lugar tras la ocurrencia de intensas lluvias, entendiéndose como tales, aquellas concentradas en cortos períodos de tiempo.

La descripción bibliográfica de los movimientos apenas permite diferenciar la tipología de los movimientos, hecho solventado con una interpretación personal apoyada en criterios geológicos sobre la localización donde tuvo lugar la inestabilidad.

Desestimando valores relativamente bajos de precipitaciones máximas registradas en 24 h, que pueden haber causado movimientos muy puntuales, se deduce del Cuadro 35, que la mayoría de los movimientos de ladera en la Serra se han producido a partir de valores de precipitaciones máximas en 24 h de 130 mm. Este valor medio será el considerado para el análisis de peligrosidad que se realizará a continuación.



Zona	Lugar	Tipo movimiento	Fecha	Prec. máx. en 24 h (mm)
Estellencs – Banyalbufar	Estellencs	Deslizamientos y desprendimientos	25 de septiembre de 1971	123
	Banyalbufar	Desprendimientos	31 de diciembre de 1973	154
	Estellencs	Deslizamientos	29 de marzo de 1974	150
	Banyalbufar	Deslizamientos y desprendimientos	Septiembre 1993	69
Esporles – Deià	Esporles	Deslizamientos y desprendimientos	31 de diciembre de 1973	154
	Esporles y Valldemossa	Deslizamientos	29 de marzo de 1974	150
	Deià	Deslizamiento	18 y 19 de octubre de 1978	145,5
	Port de Valldemossa	Desprendimientos	29 de septiembre de 1984	42
Sóller	Fornalutx	Deslizamientos	29 y 30 de septiembre de 1974	165 y 154,5 respectivamente
	Lluc	Deslizamientos y desprendimientos	1 de marzo de 1979	185
	Coll de Sóller	Deslizamiento	18 de febrero de 1987	82,7
	Sa Costera	Desprendimientos	Septiembre de 1997	116
	Sóller	Deslizamiento	9 de febrero de 1999	85

Cuadro. 35. Relación de movimientos de ladera y valores de precipitaciones máximas registradas en 24 horas.

### 10.2.2 – Análisis de la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones intensas en la Serra de Tramuntana

#### a) Metodología

##### Origen de los datos

Para llevar a cabo el análisis numérico de probabilidad de ocurrencia de precipitaciones

intensas, se ha utilizado los valores de precipitaciones máximas registradas en 24 horas de un total de 12 estaciones meteorológicas, distribuidas homogéneamente por todo el sector de estudio (CENTRO METEOROLÓGICO ZONAL DE BALEARES).

La relación de las estaciones utilizadas queda recogida en el Cuadro 36, y su situación geográfica se muestra en el mapa de la Figura 134, donde se indica también las distintas Unidades Hidrogeológicas definidas en la isla de Mallorca (SGOP, ITGE, 1992).

Estación	Nombre	Coordenadas U.T.M.		Cota (m)
B001	Cap Formentor	518.200	4423.700	150
B013	Lluc	490.200	4408.300	490.2
B019	Mossa	490.500	4411.800	530
B061	Sóller	475.800	4402.000	40.3
B075	Far Punta Grossa	472.800	4405.500	130.1
B077	Son Bujosa	469.800	4401.200	131.0
B084	Son Mas	466.200	4396.500	374.6
B087	Banyalbufar	458.400	4393.500	90.6
B178	Calviá	457.500	4380.100	145.0
B220	Son Net	459.200	4386.300	265.0
B244	Son Pacs	469.000	4391.900	190.0
B745	Pollença Can Serra	498.500	4413.600	95.5

Cuadro. 36. Relación de estaciones meteorológicas utilizadas.

El criterio de selección de las estaciones se ha basado en la longitud de la serie de medidas. Se han seleccionado aquellas estaciones actualmente operativas y con mayor número de observaciones continuas. En la Fig. 135 se representa la longitud de las series de datos de cada una de las estaciones meteorológicas utilizadas, mostrando todas ellas un período mínimo de medidas de 41 años, desde el año 1958 hasta la actualidad.

El tratamiento de los datos así como la realización de los gráficos y cálculos estadísticos necesarios se han realizado con el apoyo del paquete informático HIDROBAS (ITGE 1990) cuyos aspectos teóricos y rasgos más destacados se describen más adelante.



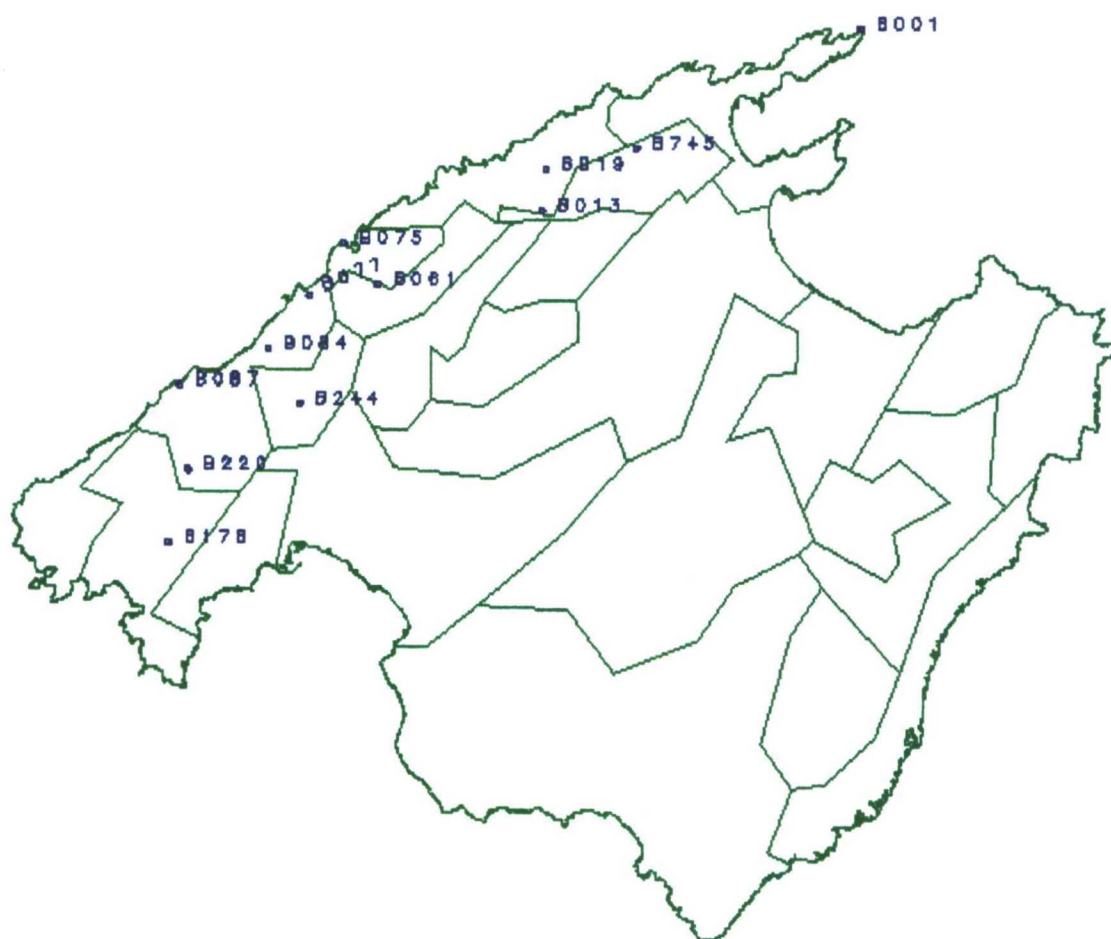


Fig. 134. Situación de las Estaciones meteorológicas en la zona de estudio

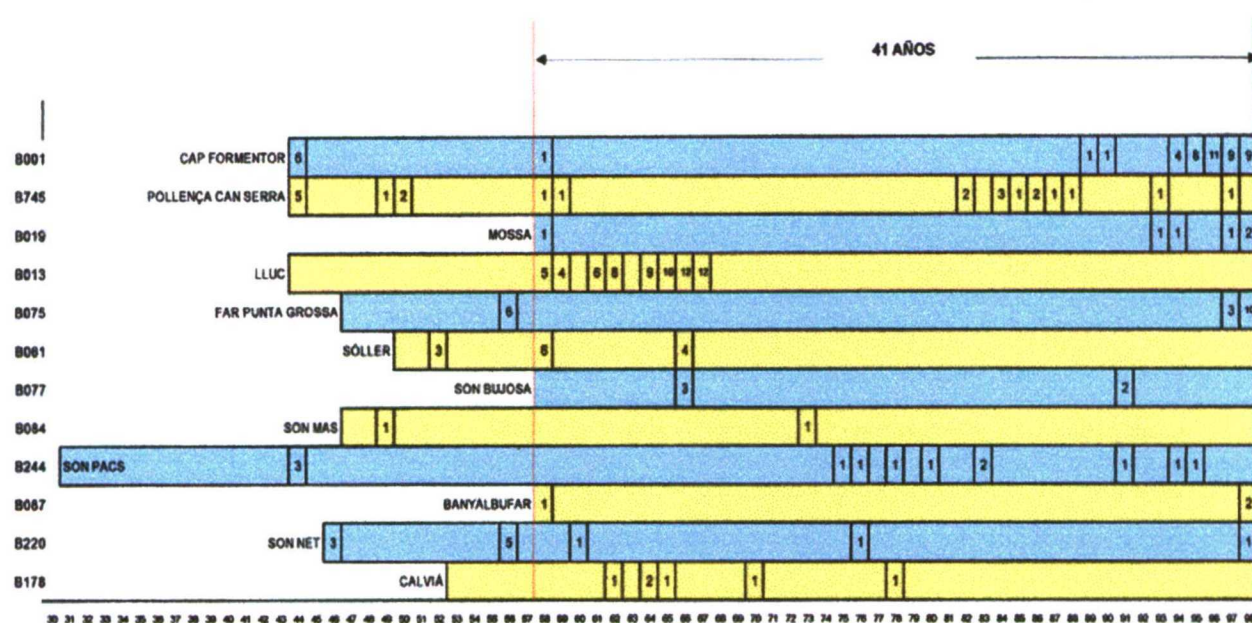


Fig. 135. Longitud de las series de medidas en cada Estación meteorológica seleccionada en la zona de estudio. MORALES, 1999 (sin publicar)

### Tratamiento de datos: homogeneización, correlación y restitución de las series

Previamente a la utilización de los datos de las distintas estaciones pluviométricas debe procederse a una comprobación de su "calidad" y evitar así los errores absolutos de tipo sistemático.

Se ha aplicado el *Método de las Dobles Masas* que se basa en la representación en ejes coordenados de parejas de puntos definidos por las acumulaciones sucesivas de dos series de valores en un mismo período temporal. La curva resultante es una línea recta si los valores de las dos series son proporcionales. La pendiente de esta recta representa la proporcionalidad entre las dos series; un cambio en la pendiente indica una variación de la constante de proporcionalidad.

La correlación entre estaciones se ha realizado obteniendo la recta de regresión ortogonal mediante el *método de ajuste por mínimos cuadrados*. Se obtiene así el grado de correlación entre las estaciones (coeficiente de correlación RO) y la ecuación de la recta de regresión, a partir de la cual puede procederse a restituir los datos inexistentes. Cada estación se ha comparado con las de su entorno. La correlación se ha efectuado primero con los datos anuales y posteriormente a nivel mensual. La estación que presenta la mejor correlación con la estudiada se utiliza para el completado de la serie. Este procedimiento se ha seguido para todas y cada una de las estaciones consideradas en el presente trabajo.

En el procedimiento de cálculo, el programa informático va haciendo aproximaciones hasta conseguir un ajuste mínimo, impuesto inicialmente por un coeficiente de correlación de 0.8. Pueden considerarse correlacionadas aquellas estaciones con un coeficiente menor, siempre y cuando todos los puntos estén dentro de la banda de garantía que marca el nivel de significación del 5% en torno a la recta de regresión, es decir, el 95 % de los puntos de la serie se hallan dentro de ella.



### Valoración del riesgo de ocurrencia de precipitaciones extremas

Existen dos métodos principales para llevar a cabo un análisis hidrológico:

- Métodos deterministas: utilizan las leyes que describen los procesos físicos que tienen lugar. En la actualidad estos métodos son fiables para un plazo de tiempo que no alcanza más allá de unos cuantos días.
- Métodos Estadísticos o probabilistas: analiza las frecuencias de ocurrencia de las variables hidrológicas involucradas, tomando como referencia lo ocurrido en el pasado. Son los métodos más utilizados para realizar previsiones a largo plazo.

El análisis de las frecuencias de ocurrencia de lluvias y sus intensidades se realiza mediante la aplicación de distribuciones estadísticas de valores máximos, siendo la distribución doble exponencial o de GUMBEL (1958) la más universalmente empleada, y por ello utilizada en este trabajo.

La función de distribución de probabilidad de Gumbel es una función biparamétrica que se expresa como:

$$F(x) = \exp \{ -\exp [-a (x - u)] \}$$

Siendo:  $u$  = parámetro de posición       $a$  = parámetro de escala

La estimación de estos parámetros puede hacerse por distintos métodos (GARRIDO et al., 1995): Método de los Momentos, Chow, Mínimos Cuadrados etc., lo que puede provocar diferencias significativas en el cálculo de probabilidades asociadas a la distribución. En el presente trabajo se ha utilizado el *Método de los Momentos* donde:

$$a = \Pi / (\sigma \sqrt{6})$$

$$u = \bar{x} - (\gamma/a)$$

siendo,  $\bar{x}$  y  $\sigma$  la media y la desviación típica insesgada empírica respectivamente, y

$\gamma = 0.5772157$ , la constante de Euler.

Considerando que un período de retorno es el tiempo que tarda en repetirse un determinado fenómeno meteorológico, el período de retorno o recurrencia  $T(x)$  para un valor  $x$  de la precipitación, puede definirse como el intervalo medio, expresado en años, en que el valor extremo alcanza o supera el límite  $x$  una sola vez, y se relaciona con la probabilidad de forma:

$$T(x) = 1/1-F(x)$$

De esta forma, aplicando la distribución de Gumbel y el período de retorno relacionado, se han podido obtener las precipitaciones máximas en 24 horas que se pueden esperar para diversos períodos de tiempo.

De acuerdo con PÉREZ CUEVA y ARMENGOT (1983) el cálculo del período de retorno no resulta significativo más allá de considerar el cuádruple de tiempo de la serie de precipitaciones. Siendo en nuestro caso la longitud mínima de las series de 41 años, los intervalos de tiempo para los que se ha calculado la precipitación máxima han sido: 5, 10, 25, 50, 100, 150 y 175 años.

El paquete informático HIDROBAS (I.T.G.E., 1990) permite obtener las gráficas de la distribución de Gumbel, donde al fijar los períodos de retorno se obtienen las probabilidades de que se produzcan éstos. Entrando en la gráfica con el valor de esta probabilidad se puede obtener el valor de la pluviometría (precipitación máxima en 24 h) correspondiente al período de retorno establecido. De forma viceversa, entrando con un valor máximo de precipitación se puede obtener la probabilidad de su ocurrencia, y mediante la relación  $T(x) = 1/1-F(x)$ , obtener el período de retorno correspondiente.

El método de Gumbel permite por lo tanto determinar las precipitaciones máximas esperables para unos períodos de retorno determinados, e inversamente los períodos de retorno de ocurrencia de unos valores de precipitaciones máximas establecidas.

Para contrastar la hipótesis de ajuste de la muestra (precipitaciones máximas en 24h.) a la distribución de Gumbel se ha utilizado el Test  $X^2$  (descrito en CUSTODIO y



LLAMAS, 1983). El estadístico  $X^2$  proporciona una medida de la discrepancia existente entre las frecuencias observadas y las esperadas, es decir, las que deberían ocurrir si se tratara de una distribución teórica de Gumbel (véase Anexo II).

## b) Desarrollo del método y cálculos

A continuación se procede a llevar a cabo la metodología propuesta para cada una de las estaciones meteorológicas consideradas. El esquema de trabajo seguido en cada estación es sistemático, se inicia al N con la estación de Formentor y se continúa comparando y correlacionando las estaciones hacia el S, finalizando en la estación de Calviá.

En cada estación se representa el gráfico de la homogenización de los datos con las estaciones de su entorno (salvo que haya sido incluido en otra estación) y la correlación completa con la estación que presenta el coeficiente de correlación más alto (salvo que haya sido incluida en otra estación), junto con una síntesis del resto de correlaciones.

La serie se completa mensualmente y se ajusta la distribución de Gumbel a la serie anual de precipitaciones máximas en 24 horas, comprobando la bondad del ajuste mediante el test  $X^2$ .

El resultado de la aplicación del test de bondad de ajuste  $X^2$ , indica que en las estaciones B001 FORMENTOR y B061 SÓLLER los datos no se ajustan a una distribución de Gumbel. En la estación B087 BANYALBUFAR el ajuste sólo es aceptable con un nivel de confianza del 10% y en B084 SON MAS es aceptable con un nivel de confianza del 50%. El resto de estaciones presentan un buen ajuste con un nivel de confianza  $\geq 95\%$ .

En el Anexo II se presentan las fichas elaboradas para cada estación meteorológica de la zona de estudio, donde se recoge, de forma gráfica y esquemática, los diferentes apartados de la metodología expuesta con la finalidad de obtener la distribución de Gumbel que relaciona los valores de precipitaciones máximas en 24 horas con los correspondientes períodos de retorno.

Llegados a este punto conviene resaltar el trabajo previo de GRIMALT (1992), que utiliza el método de Chow para el cálculo de los parámetros de la distribución de Gumbel. Los valores obtenidos por el citado autor para el cálculo de precipitaciones máximas esperables para diversos períodos de retorno en la Serra de Tramuntana son del orden de un 10% más bajos que los obtenidos en este trabajo, aplicando el método de los momentos.

### **10.3. - RESULTADOS: MAPAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 H PARA DIVERSOS PERÍODOS DE RETORNO**

Tomando como base de partida los valores obtenidos de la Distribución de Gumbel, donde se relacionan los períodos de retorno para la ocurrencia de un valor determinado de precipitación máxima (Anexo II), se han elaborado los mapas de las figuras 136, 137, 138, 139, que representan los valores de precipitaciones máximas en 24 h de la Serra de Tramuntana (con las delimitación de las Unidades hidrogeológicas) correspondientes a los períodos de retorno: 5 años, 10 años, 25 años y 100 años. En cada mapa se ha representado la isolínea correspondiente a una precipitación máxima en 24 horas de 130 mm que, como se ha visto del registro histórico de deslizamientos, se considera el valor de precipitación a partir del cual se pueden desencadenar los movimientos de ladera.

La observación de los mapas obtenidos permite establecer las siguientes conclusiones:

- La distribución espacial de las precipitaciones máximas en 24 h esperables en la Serra de Tramuntana, para los diferentes períodos de retorno considerados, muestra un máximo, en todos los casos, en la zona comprendida entre los núcleos de Sóller y Pollença, siendo más relevante en el área de Lluc. Los valores descienden gradualmente hacia los extremos meridional y septentrional de la Serra, siendo mucho menores en el extremo meridional, desde Estellencs hasta la costa de Calvià y Andratx.



- Para períodos de retorno de 5 años, en la zona comprendida entre Sóller y Pollença, las precipitaciones máximas en 24 h esperables superan el valor de 130 mm, valor estimado como “desencadenante” de los movimientos de ladera (Fig. 136).
- Para períodos de retorno de 10 años, la zona de precipitaciones máximas en 24 h superiores a 130 mm se extiende hacia el N, NO y SE, cubriendo la zona comprendida entre Sóller y Valldemossa, excepto la franja más litoral (Fig. 137).
- Para períodos de retorno de 25 años, la zona de precipitaciones máximas en 24 h superiores a 130 mm cubre todo el área de estudio, excepto el límite más meridional donde se encuentra la localidad de Estellencs (Fig. 138).
- Para períodos de retorno de 100 años, las precipitaciones máximas en 24 h esperables, superan los 130 mm en todo el área de estudio (Fig. 139).

#### **10.4. – ANÁLISIS DE LA PELIGROSIDAD**

El análisis de la peligrosidad tiene como finalidad establecer ¿dónde? y ¿cuándo? pueden tener lugar los procesos de inestabilidad. El análisis de susceptibilidad llevado a cabo en el Capítulo 9 de este trabajo da una respuesta a la localización espacial de la inestabilidad. El análisis de la serie de precipitaciones históricas en la Serra de Tramuntana nos ha permitido establecer los períodos de retorno de ocurrencia de unos valores de precipitación considerados como desencadenantes, obteniendo así una respuesta a la temporalidad del fenómeno.

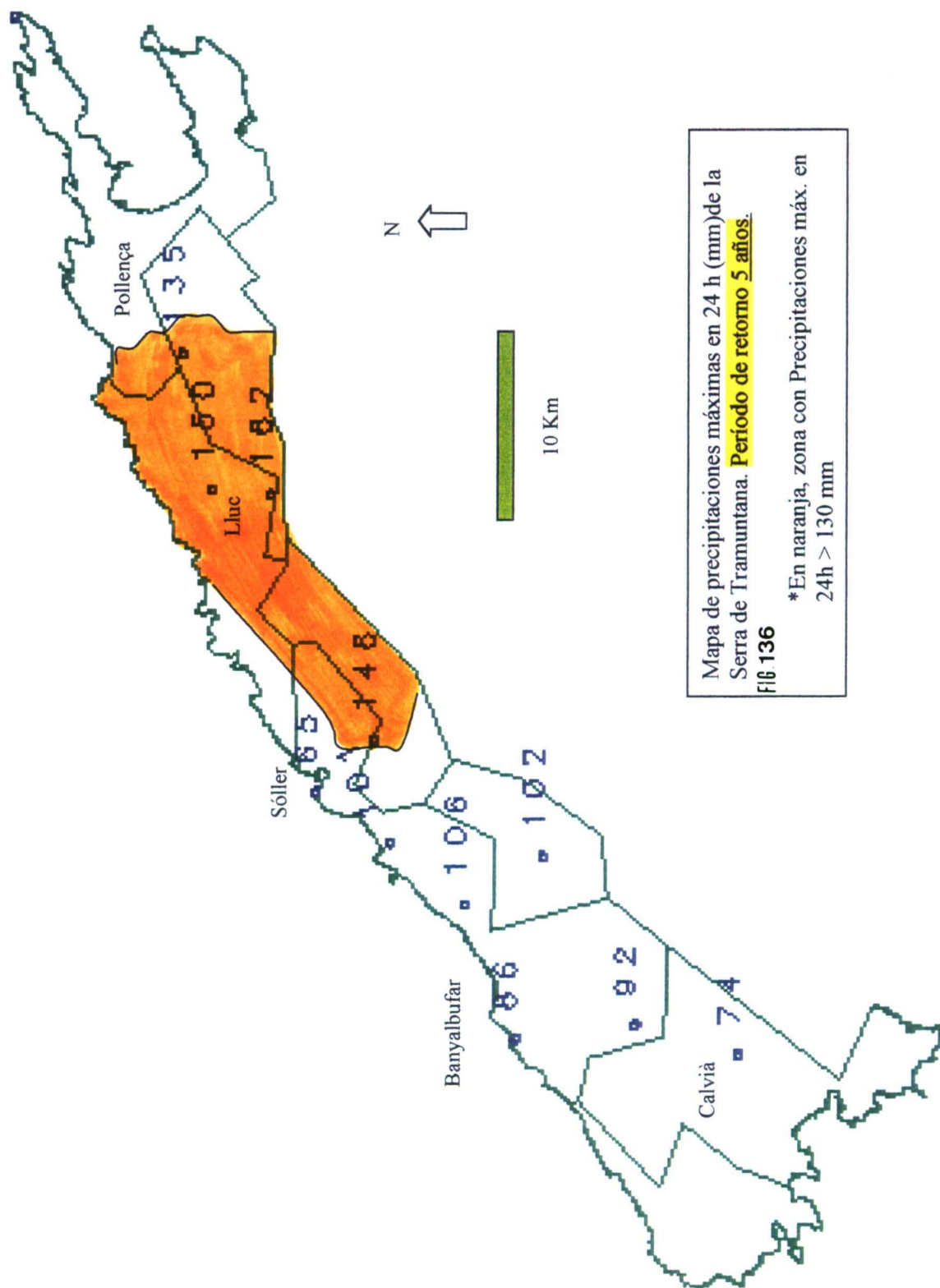
A la vista del análisis de precipitaciones llevado a cabo con anterioridad, se puede afirmar que la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones extremas en la zona de estudio aumenta hacia el NE, desde Estellencs hacia Sa Calobra. El período de retorno para una precipitación superior a 130 mm es de 5 años en el margen más nororiental y de 100 años en el suroccidental. Cabe resaltar la excepción que supone el entorno del Port de Sóller, donde el período de recurrencia es superior a 100 años.

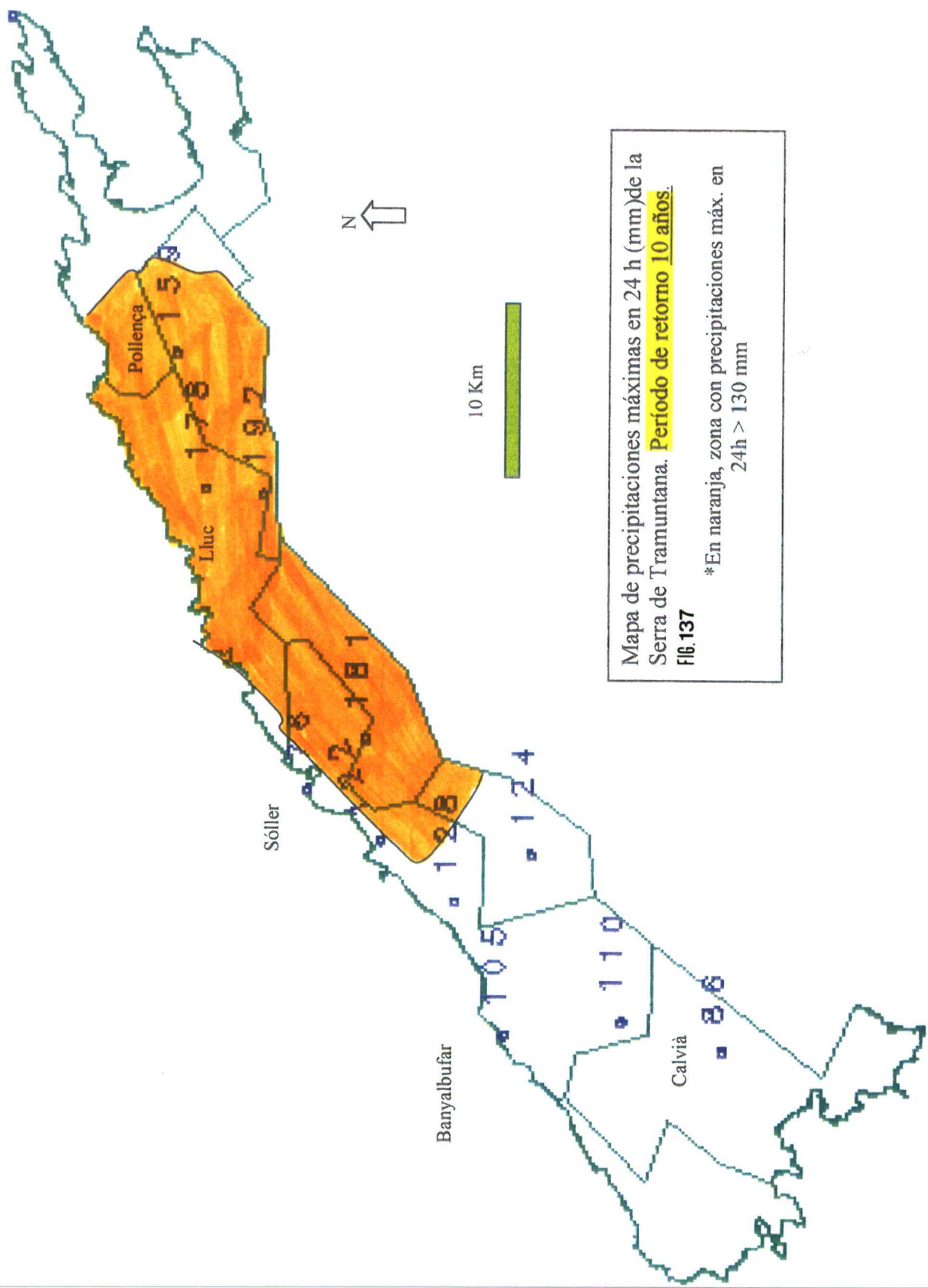
En la Figura 140, se representa un mapa de probabilidad de ocurrencia de varios episodios de precipitaciones intensas (superiores a 130 mm en 24 h) en un período de 25 años, considerando éste como un período de tiempo a medio plazo. Se observa un aumento de la probabilidad desde la zona de Estellencs – Banyalbufar → Esporles – Deià → Sóller.

Con la finalidad de obtener el grado de peligrosidad en la zona de estudio se lleva a cabo una superposición espacio – temporal del mapa general de susceptibilidad (Fig. 123) y el mapa de probabilidad de ocurrencia de varios episodios de precipitaciones intensas en un período de 25 años (Fig. 140). Se obtiene el mapa de peligrosidad de la Figura 141, donde se establecen tres grados de peligrosidad a los movimientos de ladera: bajo, medio y alto. La observación de este mapa permite realizar las siguientes conclusiones:

- La probabilidad de ocurrencia de movimientos de ladera en la zona de estudio aumenta de forma general hacia el NE, destacando la zona de Sóller, donde más de la mitad de su extensión se presenta un elevado grado de peligrosidad.
- La costa de Banyalbufar, así como los relieves elevados de la zona Estellencs-Banyalbufar, se han caracterizado con un elevado grado de peligrosidad, ya que aunque la probabilidad de ocurrencia de intensas precipitaciones es menor, el grado de susceptibilidad es muy elevado.
- La zona central Esporles – Deià es la que presenta menor grado de peligrosidad, destacando el área comprendida entre las localidades de Esporles y Valldemossa. El resto de la zona se ha caracterizado con un grado medio de peligrosidad, exceptuando los relieves de la Serra de Teix y Calera, donde la probabilidad de ocurrencia de movimientos de ladera es alta.



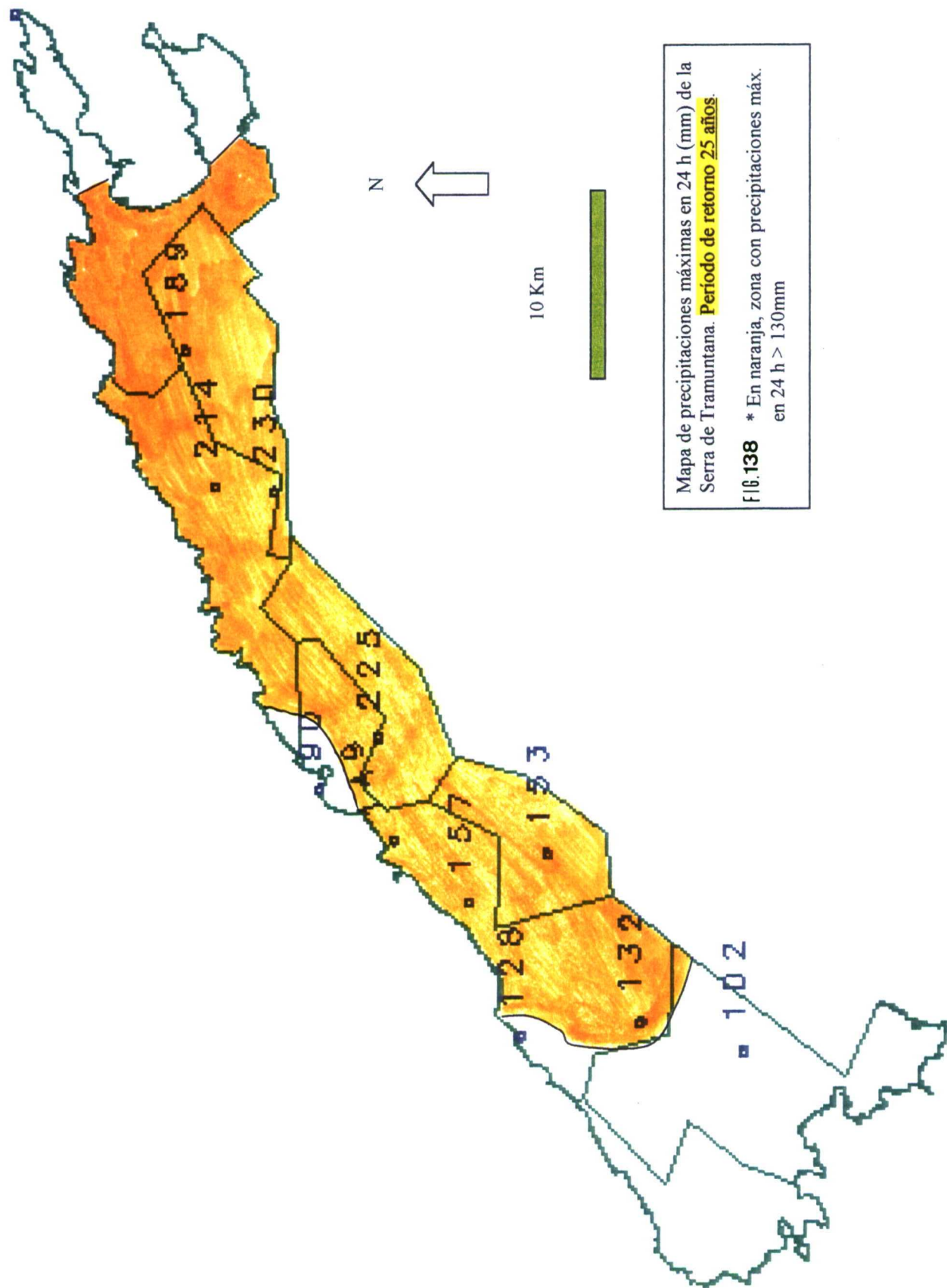


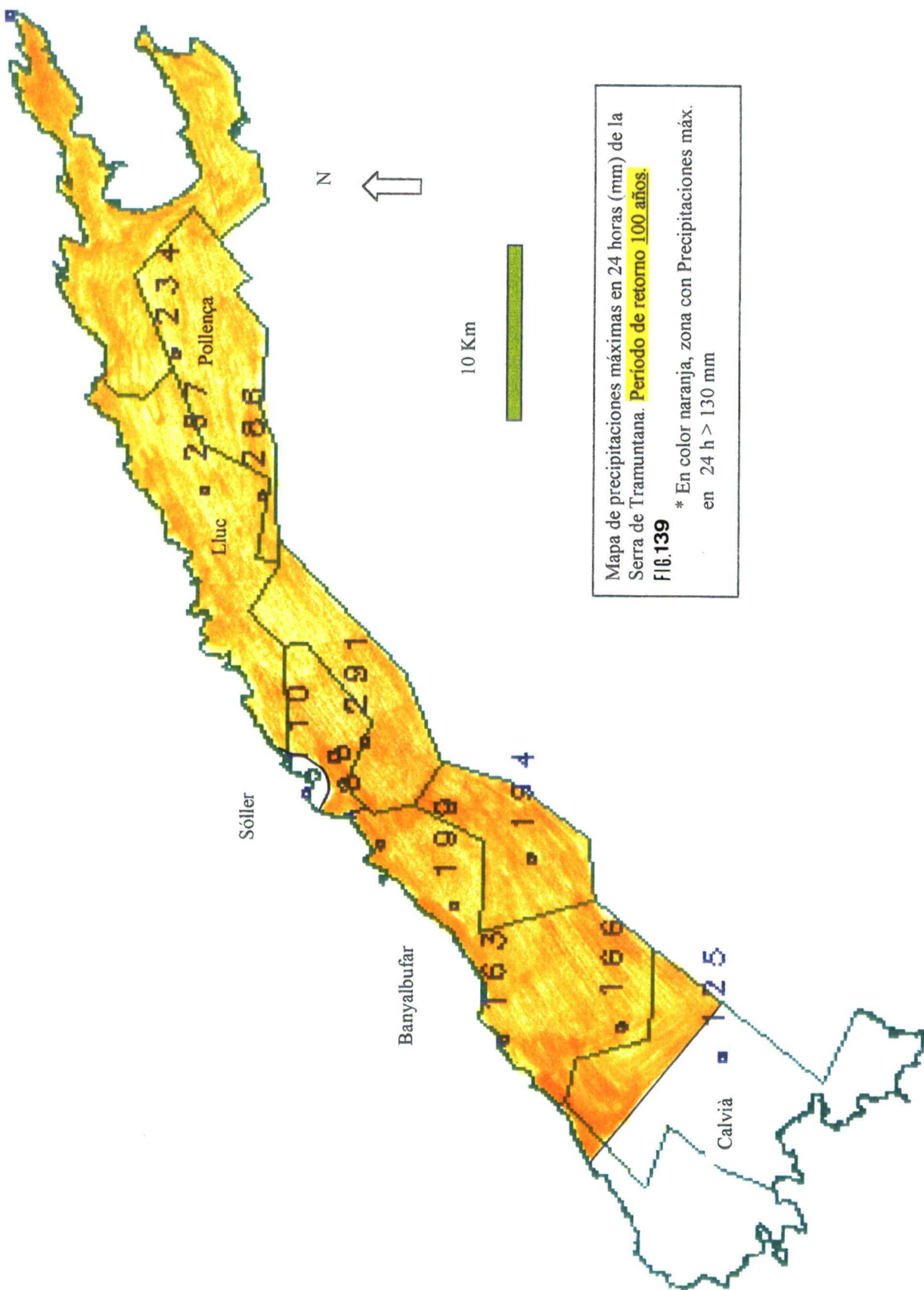


Mapa de precipitaciones máximas en 24 h (mm) de la Serra de Tramuntana. **Período de retorno 10 años.**  
Fig. 137

\*En naranja, zona con precipitaciones máx. en 24h > 130 mm









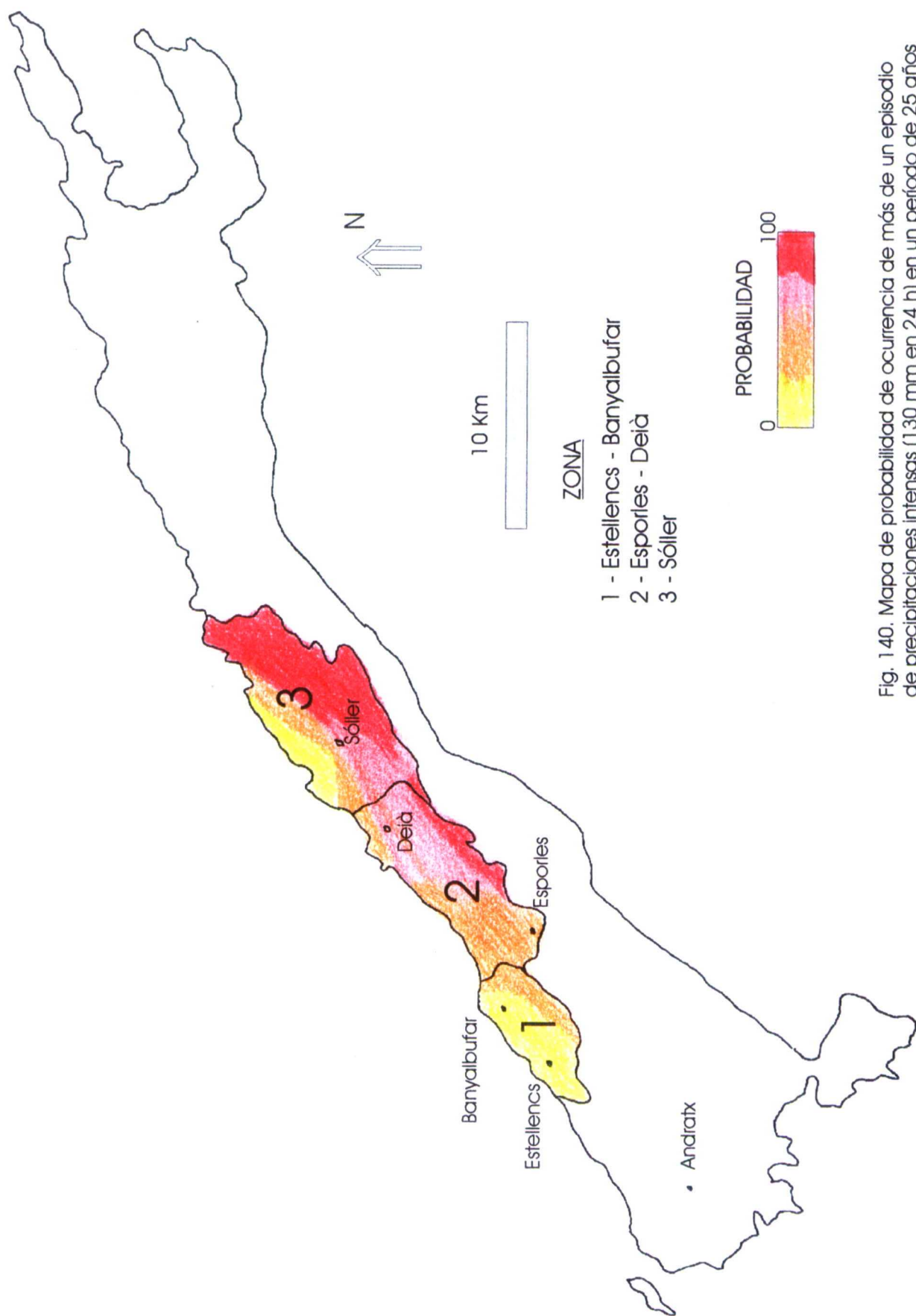


Fig. 140. Mapa de probabilidad de ocurrencia de más de un episodio de precipitaciones intensas (130 mm en 24 h) en un período de 25 años

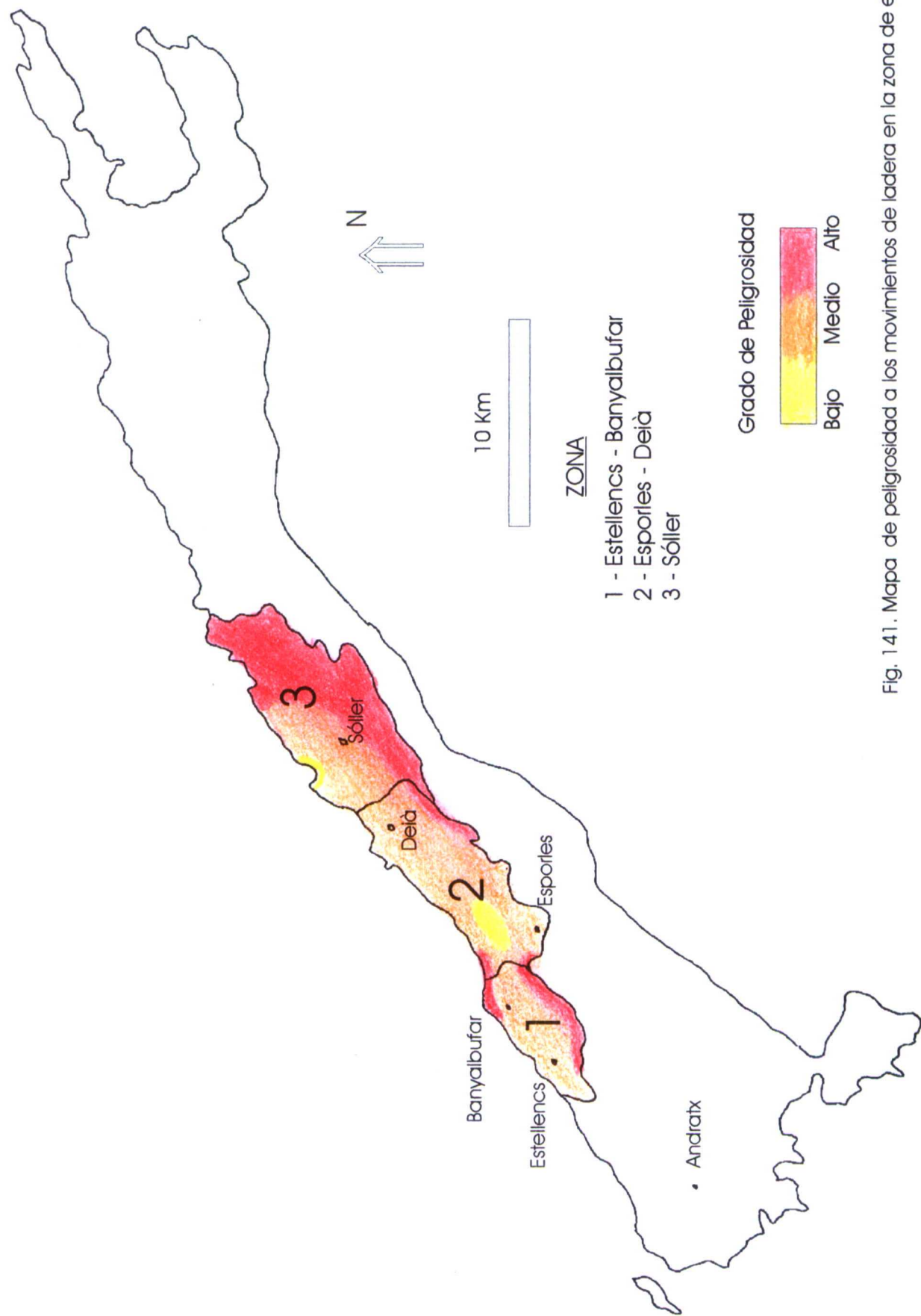


Fig. 141. Mapa de peligrosidad a los movimientos de ladera en la zona de estudio



## **Capítulo 11**

### **CONCLUSIONES**

En la presente investigación se han analizado los procesos de inestabilidad de laderas en la Serra de Tramuntana de Mallorca, evaluando la influencia de los factores geológicos y geomecánicos en la ocurrencia de movimientos antiguos y recientes. Se han inventariado, definido y caracterizado las tipologías de movimientos y se ha llevado a cabo el estudio de la susceptibilidad asociada a estos procesos, realizando cartografías de susceptibilidad en la zona de estudio a escala 1:25,000. Por último, se ha llevado a cabo un análisis de la peligrosidad, en base a la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones intensas en la zona.

Respecto a los diferentes contenidos de la investigación, se establecen las siguientes conclusiones:

#### **Características geomecánicas de los materiales que afloran en el área de estudio: clasificación geotécnica**

Se ha realizado la caracterización y clasificación geotécnica de los materiales que afloran en la zona de estudio, poniéndose de manifiesto diferentes comportamientos geomecánicos: desde suelos muy blandos, como los niveles arcillosos del Keuper, hasta macizos rocosos muy resistentes que corresponden a los materiales calcáreos del Lías.

En la clasificación geotécnica llevada a cabo, basada en el valor de resistencia a compresión simple, se han establecido cinco grupos, que van desde suelos extremadamente blandos – muy blandos, con valores de resistencia a compresión uniaxial inferiores a 1 MPa, hasta rocas muy duras con valores superiores a 100 MPa. Existe un campo intermedio de materiales con comportamientos tipo rocas blandas, con valores a resistencia a compresión simple en torno a 10 MPa.

Los parámetros de resistencia al corte de los materiales con comportamiento tipo suelo y/o rocas blandas, como los sedimentos blandos del Keuper, destacan por su baja resistencia, con valores de cohesión inferiores a 0,05 MPa y ángulos de fricción en torno a 23°. Los depósitos coluviales cuaternarios que tapizan numerosas laderas de la Serra presentan valores de cohesión cercanos a 0,5 MPa y ángulos medios de fricción de unos 35°.

#### **Tipologías de los movimientos de ladera**

Los movimientos de ladera en la zona de estudio se han clasificado en tres grupos principales:

- a) *Desprendimientos rocosos*: a favor de discontinuidades, por descalce y por socavación de la base de la ladera. Son movimientos actuales con dimensiones muy variables. Los depósitos coluviales recientes engloban gran cantidad de bloques desprendidos.

Los frentes de desprendimientos rocosos se asocian a las siguientes condiciones geológicas y/o geomorfológicas: contactos entre materiales duros y blandos, frentes de cabalgamiento, escarpes de fallas normales y morfologías kársticas.

- b) *Deslizamientos rotacionales en roca*: son movimientos antiguos de grandes dimensiones que en ocasiones movilizan millones de m<sup>3</sup> de roca. Afectan principalmente a los materiales carbonatados de edad liásica. Los escarpes de cabecera de estos deslizamientos se alinean de forma paralela a los principales frentes de cabalgamiento así como a la actual línea de costa (SO-NE). Se han cartografiado a diferentes cotas, desde la franja costera hasta altitudes cercanas a los 1000 m. La nitidez de los escarpes de rotura aducen a movimientos recientes.

- c) *Deslizamientos complejos en suelos y rocas blandas* : son movimientos recientes de escasa profundidad. La rotura se inicia como un deslizamiento rotacional y, posteriormente, la masa deslizada se comporta como un flujo. Los movimientos de flujo observados pueden ser de diversos tipos, según las litologías afectadas: coladas de tierra, coladas de barro y flujos de derrubios. Se han descrito este tipo de movimientos en laderas formadas por sedimentos coluviales recientes sobre los materiales blandos e impermeables del Keuper. Afectan igualmente a rocas blandas muy meteorizadas, como es el caso de los niveles margosos de la Formación Turbidítica de Banyalbufar.

## **Factores condicionantes de los movimientos de ladera**

- a) *Geología*. En la zona de estudio afloran materiales desde el Triásico inferior hasta el Cuaternario. La gran variedad litológica de materiales de origen carbonatado tipo suelos, rocas blandas y macizos rocosos condiciona la tipología de los movimientos que tienen lugar.

La estructura general de la Serra de Tramuntana corresponde a un sistema imbricado de cabalgamientos miocenos dirigido hacia el NO y un conjunto de grandes fallas normales postorogénicas. Los movimientos tipo desprendimientos rocosos y/o deslizamientos rotacionales en roca están muy condicionados por los elementos estructurales de la zona. El grado de fracturación de los macizos rocosos condiciona la generación de desprendimientos y determina el volumen de masa desprendida. Los macizos rocosos de la Serra de Tramuntana se encuentran altamente fracturados.

- b) *Propiedades geomecánicas de los materiales*. Los valores de resistencia al corte de los materiales determinan en gran medida la generación de movimientos. Los materiales finos del Keuper presentan los valores de resistencia menores. En algunas laderas de la zona de estudio, previamente movilizadas, los materiales ofrecen parámetros residuales de resistencia.



- c) *Pendientes*. Un área superior al 8% de la superficie total de la zona de estudio ofrece pendientes superiores a 50° y cerca de un tercio de la superficie se encuentra en pendientes comprendidas entre 20° - 35°, siendo éste un factor de gran importancia en la generación de movimientos de ladera en suelos.
- d) *Hidrogeología*. Predominan los acuíferos permeables por fisuración y/o karstificación en los macizos rocosos carbonatados. Se trata de acuíferos colgados de reducida o mediana entidad, que descargan a través de fuentes y manantiales. Los acuíferos detríticos son de poca extensión limitándose a sedimentos aluviales y coluviales del Cuaternario. La explotación de aguas subterráneas en la zona de estudio es escasa en comparación con el resto de la isla.
- e) *Vegetación*: la vegetación autóctona consiste en el bosque mediterráneo de encinar, que ofrece un mayor sostenimiento del suelo. Este bosque ha sido sustituido gradualmente por pinar. Se refleja el pasado agrícola de la zona en un paisaje aterrazado donde predomina el cultivo de especies arbóreas de secano.

## **Dinámica y sedimentación litoral**

La franja litoral de la zona de estudio se caracteriza por una activa dinámica litoral, que influye decisivamente en los procesos de estabilidad costera. Del análisis de estos procesos se deduce:

- a) *Régimen direccional y escalar del oleaje*. Los frentes de oleaje más energéticos en el litoral de la Serra de Tramuntana proceden del NE y N, con altura de ola de hasta 3 m. Corresponden con los valores máximos de fetch registrados.
- b) *Corrientes y transporte de sedimentos*. Además de la corriente general del Mediterráneo, muy debilitada en caudal en la costa noroccidental de Mallorca, se generan corrientes de arrastre y de gradiente ligadas a vientos locales en la costa. Las corrientes inducidas por el oleaje poseen una mayor capacidad de transporte de sedimentos. El 65% de los registros de oleaje presentan períodos inferiores a 5 segundos. Este hecho se traduce en un mayor número de olas que inciden sobre la costa y un mayor poder erosivo sobre los acantilados. El nivel de base del oleaje se estima entre 25 - 30 m de profundidad.
- c) *Sedimentología litoral*. Predomina la sedimentación terrígena (70%) sobre la bioclástica. Se registran importantes espesores (>20 m) de acumulación de sedimentos no consolidados y de granulometría gruesa en la plataforma somera. En la zona de batida del oleaje, con una marcada pendiente, se acumulan grandes bloques y se observan afloramientos rocosos con encostramientos superficiales. Este conjunto de características pone de manifiesto la elevada actividad de la costa en cuanto a denudación y retroceso de acantilados se refiere. El aporte de sedimentos de los torrentes al litoral es poco significativo.

- d) *Relación sedimentación litoral / movimientos de ladera en superficie.* Las zonas litorales sumergidas con mayor espesor de acumulación de sedimentos no consolidados corresponden claramente con la localización de grandes movimientos en tierra. Los deslizamientos rotacionales en roca cartografiados en el litoral se relacionan claramente con los máximos valores de isopacas de sedimentos sin consolidar en el litoral.
- e) *Incidencia en el litoral de los cambios eustáticos a lo largo del Cuaternario.* El registro sedimentario de potentes depósitos fluviales y/o coluviales cuaternarios pone de manifiesto un mayor dinamismo de laderas y actividad torrencial que el actual. Este hecho podría estar relacionado con posiciones más bajas del nivel del mar, lo cual conllevaría a un descenso del nivel de base de los torrentes y a un aumento general de las pendientes. Se constata el hecho de cauces torrenciales que se continúan por debajo del actual nivel del mar.

## **Susceptibilidad por movimientos de ladera**

### **Respecto a los tipos de movimientos:**

- a) *Desprendimientos rocosos.* Se producen en áreas con afloramientos de rocas duras y/o moderadamente duras en pendientes superiores a 35° y con un elevado grado de fracturación. Son macizos rocosos permeables por fisuración y/o karstificación. La apertura de las discontinuidades permite la circulación del agua.
- b) *Deslizamientos rotacionales en roca.* Se generan en macizos de rocas duras, principalmente dolomías, brechas y calizas liásicas. La superficie de rotura está en relación con la presencia de contactos geológicos o estructuras relevantes. Las pendientes son superiores a 35°. La permeabilidad por fisuración de la roca es elevada. En ocasiones la base del plano de rotura coincide con la aparición de los materiales impermeables del Keuper.
- c) *Deslizamientos complejos en suelos.* Se generan en áreas donde afloran materiales con comportamiento tipo suelos y/o rocas blandas muy alteradas en superficie, con pendientes superiores a 25°. Se trata de materiales de baja permeabilidad, con un elevado contenido en finos. La vegetación puede tener importancia en la fijación del suelo.

### **Respecto al análisis de Susceptibilidad:**

Cerca del 30% de la superficie total de la zona de estudio se caracteriza por su elevado grado de susceptibilidad: en una extensión de 104 Km<sup>2</sup> se dan las condiciones favorables para la generación de fenómenos de inestabilidad de laderas.



El grado de susceptibilidad aumenta hacia los extremos septentrional y meridional de la zona de estudio (zona Sóller y zona Estellencs – Banyalbufar). La zona con menor grado de susceptibilidad es la comprendida entre los núcleos de Esporles y Valldemossa, en el sector central de la Serra de Tramuntana.

Los movimientos más extendidos en la zona de estudio son los desprendimientos rocosos que pueden afectar a un 35% de la zona de estudio, seguidos de los deslizamientos complejos en suelos. Casi un 25% de la superficie total presenta un grado medio – alto de susceptibilidad a la generación de este último tipo de movimientos.

Únicamente el 6% de la superficie total de la zona de estudio presenta un grado de susceptibilidad alta por deslizamientos rotacionales en roca.

## **Peligrosidad a los movimientos de ladera**

### **Con respecto a los factores desencadenantes**

- a) *Precipitaciones intensas.* El análisis de los movimientos de ladera históricos en la Serra de Tramuntana pone de manifiesto que el principal factor desencadenante es la ocurrencia de intensas precipitaciones. La mayoría de los movimientos de ladera se han producido a partir de valores de precipitaciones máximas en 24 h de 130 mm, considerando este valor como el umbral “desencadenante” en el análisis de peligrosidad.

Del análisis de los datos meteorológicos se concluye:

- Para un período de retorno de 100 años, las precipitaciones máximas en 24 h esperables superan los 130 mm en todo el área de estudio.
- La probabilidad de ocurrencia de precipitaciones extremas aumenta hacia el NE, desde Estellencs hacia Sóller. En el extremo más septentrional, el período de retorno de precipitaciones superiores a 130 mm en 24 h es inferior a 25 años.

Los grandes deslizamientos rotacionales profundos en roca no se han producido en épocas históricas. Podrían estar relacionados con períodos climáticos mucho más húmedos que el actual.

- b) *Erosión litoral.* La franja costera de la zona de estudio constituye un litoral muy activo donde predominan los procesos erosivos sobre los sedimentarios. La acción del oleaje es el principal factor desencadenante de movimientos de taludes costeros. En los acantilados costeros rocosos se observan vuelcos, colapsos y desplomes por la socavación efectuada por el oleaje. En rocas blandas y suelos se observan inestabilidades de tipo rotacional e incluso flujos.

La cota de acantilados activos, en el tramo septentrional de la zona de estudio, puede superar los 300 m. Existen gran número de edificaciones sobre el litoral, posteriores a los años 70, que han quedado “colgadas”, lo cual pone de manifiesto una elevada tasa de retroceso de acantilados.

- c) *Sismicidad*. Dentro del contexto del Mediterráneo occidental, Baleares presenta una sismicidad entre moderada y baja. El registro instrumental revela terremotos con valores de Magnitud Richter inferiores a 4,5. La sismicidad histórica e instrumental registrada en la Isla de Mallorca se localiza en la Depresión Central, asociada a fallas normales que delimitan las cuencas de relleno postorogénicas. En la Serra de Tramuntana no hay registrada sismicidad histórica ni instrumental.

Los grandes deslizamientos profundos en roca podrían estar ligados a períodos sísmicamente más activos que el actual.

- d) *Actividad humana*. La acción antrópica es una de las principales causas desencadenantes de los movimientos de laderas, especialmente la construcción y obras civiles. La red viaria de la Serra de Tramuntana se ve afectada por numerosos problemas geotécnicos en los taludes, observándose movimientos de pequeñas dimensiones en los mismos. El incremento de la construcción en los últimos años y la afluencia de numerosos turistas que discurren por las carreteras de la zona, condiciona un elevado riesgo por este tipo de procesos en algunas zonas.

La actividad minera en la zona de estudio apenas tiene relevancia, limitándose a la extracción de materiales para la construcción.

### **Respecto al análisis de la Peligrosidad:**

La probabilidad de que se produzcan movimientos de ladera en la zona de estudio aumenta de forma general hacia el NE, destacando los relieves de Teix y Sa Calera así como la zona de Sóller. En ésta última, más de la mitad de su extensión se caracteriza por un elevado grado de peligrosidad.

La costa de Banyalbufar, así como los relieves elevados de la zona comprendida entre Estellencs y Banyalbufar, presentan igualmente un elevado grado de peligrosidad, ya que aunque la probabilidad de ocurrencia de intensas precipitaciones es menor, el grado de susceptibilidad es muy alto.

La zona central de la Serra de Tramuntana, entre las localidades de Esporles y Valldemossa, así como el área comprendida entre la localidad de Sóller y el Port de Sóller, presenta el grado más bajo de peligrosidad del conjunto de la zona estudiada.



## **CAPÍTULO 12**

### **APLICACIONES Y PROPUESTA DE FUTURAS INVESTIGACIONES**

#### **12.1. – APLICACIONES**

La Isla de Mallorca ha sufrido en la última mitad de siglo una transformación acelerada, pasando de una economía agrícola de subsistencia a recibir más de siete millones de turistas al año. La urbanización del territorio, especialmente en la costa, se ha visto incrementada enormemente, ocupando en algunos lugares prácticamente todo el espacio natural disponible (Calvià, Andratx etc.). Existe un término denominado “balearización” que alude a la rápida urbanización del territorio. Este hecho constituye el principal problema actual de la Isla, donde la ocupación del suelo está llegando a sus máximos niveles.

Ante esta perspectiva, la disponibilidad de una cartografía de peligrosidad a los movimientos de ladera es de gran utilidad y aplicabilidad en los siguientes campos:

##### *a) Planificación territorial*

Los criterios fundamentales que rigen la planificación del territorio son de carácter económico y apenas tienen en cuenta los cambios naturales que pueden ocurrir a lo largo del tiempo. El no contar con la “movilidad” de la naturaleza trae graves consecuencias y, a medio y largo plazo, un elevado coste económico y social. La planificación del territorio en un relieve abrupto y activo como la Serra de Tramuntana debe contemplar inevitablemente el riesgo por movimientos de ladera.

Los mapas de susceptibilidad obtenidos establecen una zonificación espacial según tres grados de inestabilidad potencial del terreno: alta, media, baja. Estas cartografías indican aquellas zonas donde la probabilidad de ocurrencia de movimientos de ladera es elevada, al confluir una serie de factores que condicionan la inestabilidad y además, indican el tipo de movimiento que puede tener lugar. El análisis de peligrosidad, no solo aporta una distribución espacial de las zonas potencialmente inestables, sino que establece la temporalidad de ocurrencia de estos fenómenos.

De esta forma, la planificación del uso del territorio cuenta con una herramienta fundamental para evitar la ubicación de actividades que comporten un riesgo en zonas potencialmente peligrosas por procesos de movimientos de ladera y, en el caso de decidir su ocupación, tomar las medidas correctoras necesarias para prevenir los movimientos.

La localización de futuras zonas urbanizables, construcciones, explotación de recursos naturales e infraestructuras varias deben tener en cuenta estos riesgos naturales.

#### *b) Ingeniería de costas*

En el presente trabajo de investigación se ha tenido en cuenta el dinamismo del litoral de la zona de estudio, elaborando una valiosa información sobre determinados aspectos relacionados con el oleaje que incide en la costa, las corrientes que afectan al litoral y/o la sedimentación que se deposita en la plataforma costera, así como su relación con los movimientos de ladera en la franja costera. Esta información puede ser empleada como base de partida para el diseño de obras y actividades que se pretendan llevar a cabo en este medio de transición tierra – mar, tales como puertos, diques, espigones, barreras contra la erosión etc.

La construcción de urbanizaciones, casas y chalets en primera línea de costa viene siendo una práctica habitual, en ocasiones sobre el borde de los acantilados. El continuo retroceso de éstos, como proceso de evolución natural del litoral, constituye uno de los riesgos más importantes en la zona de estudio.

#### *c) Construcción e infraestructuras*

La caracterización geotécnica de los materiales que constituyen la zona de estudio establece los valores medios de los principales parámetros geotécnicos: densidad, resistencia a compresión simple, cohesión, ángulo de fricción, índices de plasticidad etc. Estos valores medios, así como la clasificación geomecánica establecida, permiten adelantar los problemas geotécnicos que pueden tener lugar en cada tipo de material. Trabajos geotécnicos como la excavación de taludes para construcciones, las cimentaciones, la corrección de taludes inestables etc., pueden beneficiarse de la información geotécnica obtenida para este trabajo de investigación.

#### *d) Explotación de aguas subterráneas*

El abastecimiento a la isla de Mallorca se produce principalmente mediante este recurso. Las cartografías de permeabilidad elaboradas para el presente trabajo a escala 1:25,000, donde se representa el tipo de acuífero y la localización exacta de fuentes y manantiales, constituyen una valiosa documentación para los trabajos de explotación y regulación de fuentes y manantiales. Las variaciones del nivel piezométrico inducidas por la explotación de aguas subterráneas, deberán tenerse en cuenta en aquellas zonas con una elevada susceptibilidad a la generación de movimientos en suelos y materiales blandos.

### **12.2. - PROPUESTA DE FUTURAS INVESTIGACIONES**

Los objetivos y alcance de esta investigación no han permitido abarcar con suficiente detalle diferentes aspectos, que a medida que se iba desarrollando el trabajo, se han ido



manifestando y cobrando interés científico. Muchas cuestiones planteadas, que no han podido ser resueltas deberían ser investigadas en un futuro, destacando las siguientes:

*a) Cronología de los deslizamientos*

Sería de gran interés establecer las condiciones geológicas y climáticas en las que se produjeron los grandes deslizamientos profundos en roca, ya que son los que movilizan mayores volúmenes. Conocer la edad de los deslizamientos, y mediante estudios de geomorfología y geología del Cuaternario, establecer sus relaciones con períodos climáticos más húmedos que el actual .

*b) Tectónica reciente y paleosismicidad*

Estudio de las posibles relaciones entre la sismicidad y las inestabilidades de ladera, mediante técnicas de análisis estructural, estudios de paleosismicidad y dataciones absolutas.

*c) Factores antrópicos y ambientales*

La concurrencia de numerosos factores antrópicos en la zona de estudio en un futuro inmediato puede incidir negativamente en el aumento de la peligrosidad por movimientos de ladera. Se propone un tratamiento digital mediante SIG que permita tener en cuenta la modificación de numerosos aspectos antrópicos y/o ambientales: trazado de nuevas vías de comunicación, excavaciones, vías naturales de drenaje etc. y establecer la peligrosidad a los movimientos de ladera según estas transformaciones, tomando como base de partida los análisis de peligrosidad realizado en el presente trabajo.

*d) Análisis del riesgo*

En base a los resultados obtenidos en el apartado anterior, y teniendo en cuenta el impacto de las actividades turísticas en la región, sería de gran interés práctico llevar a cabo un análisis del riesgo económico y social por movimientos de ladera, considerando las actividades antrópicas actuales y previsibles en un futuro.

## **Capítulo 13**

### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **A**

ALFARO, P. (1995). Neotectónica en la Cuenca del Bajo Segura (Cordillera Bético oriental). Tesis doctoral, Universidad de Alicante, 217.

ALVARO, M. (1987). La tectónica de cabalgamientos de la Sierra Norte de Mallorca (Islas Baleares). Bol. Geol. Min., XCVIII (5), 622-629.

ALVARO, M., DEL OLMO, P. (1984). Las unidades tectónicas de la Sierra Norte de Mallorca (Islas Baleares). I Congr. Geol. España. Segovia. Comunicaciones, vol.3, 1-10.

ALVARO, M., BARNOLAS, A. (1989). El Jurásico de Mallorca (Islas Baleares). In: Estratigrafía del Jurásico de la Península. Cuad. Geol. Ibérica, vol 13, 67-120.

ALVARO, M., BARNOLAS, A. (1984). El Neógeno de Mallorca: caracterización sedimentológica y bioestratigráfica. Bol. Geol. Min., XCV (1), 3-25.

AYALA, F.J., FERRER, M. (1989). Extent and economic significance of landslides in Spain. Proceedings of the 28Th International Geological Congress: Symposium on Landslides. Washington D.C. P., 169-178.

#### **B**

BAEZA, C., COROMINAS, J. (1997). Elaboración de mapas de susceptibilidad de deslizamiento mediante técnicas estadísticas. IV Simposio Nal. Sobre taludes y laderas inestables, vol I, 65-77.

BARD, E., HAMELIN, B. et FAIRBANKS, A.G. (1990). U- Th ages obtained by mass spectrometry in corals from Barbados: sea level during the past 130,000 years. Nature 346, 456-458.

BATLLE, A., FELGUEROSO, C. Y FUSTER, J. (1972). Presencia de calizas del Cretácico Superior en el extremo suroeste de la Sierra Norte de Mallorca (Baleares). Bol. Geol. Miner. 83, 343-350.

BENEDICTO, A. (1994). Geología de la Cubeta de Inca (Mallorca): Cartografía geológica e interpretación de datos del subsuelo. Bolletí de la Societat d'Historia Natural de les Balears, vol.37, 15-34.



BIJU-DUVAL, B., DECOURT, J., ET LE PICHON, X. (1977). From the Tethys Ocean to the Mediterranean Seas: A plate tectonic model of the evolution of the western Alpine System. Symposium on the geological history of the Mediterranean basins. Editions Technip, Paris, 143-164.

BLOOM, A.L., BROECKER, W.S., CHAPPELL, M.A., MATTHEWS, R.K., MESOLELLA, K.J. (1974). Quaternary sea level fluctuations on a tectonic coast: New  $^{230}\text{Th}$  /  $^{234}\text{U}$  dates from the Huon Peninsula, New Guinea. Quaternary Research, 4, 185-205.

BONNARD, C. & NOVERRAZ, F. (1984). Instability risk maps: from the detection to the administration of landslide prone areas. 4th Int. Symp. Landslides, Toronto, vol.1, 511-516.

BOURROUILH, R. (1983). Estratigrafía, sedimentología y tectónica de la Isla de Menorca y del NE de Mallorca (Balears). Colección Memorias del IGME. Tomo 99, 600.

BOUVY, P. (1852). Notice sur le tremblement de terre du 15 mai 1851 de l'Île de Majorque, BSGF (2), 1852, X, 359- 364.

BOUVY, P. (1851). Sobre el terremoto ocurrido en la Isla de Mallorca el 15 de mayo último. Revista Minera, Madrid, II, 375 - 556.

BRABB, E.E. (1984). Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping. 4th. Int. Symp. Landslides. Toronto. Vol.1, 307-323.

BUFORN, E., SANZ DE GALDEANO, C., UDÍAS, A. (1995). Seismotectonics of the Ibero – Maghrebian region. Tectonophysics 248 (1995), 247-261.

## C

CAINE, N. (1980). The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows. Geografiska Ann. 62A, 23-27.

CARDOSO DA SILVA, G. (1997). Comportamiento de los manantiales del karst nororiental de la Serra de Tramuntana, Mallorca. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya.

CARRARA, A. (1984). Landslide hazard mapping: aims and methods. Mouvements de terrain. Doc. Bur. Rech. Géol. Min: 83. Orléans, 141-151.

CARRARA, A. (1983). Multivariate models for landslide hazard evaluation. Math. Geology, 15. New York, 403-426.

CARRARA, A., CARDINALI, M., DETTI, R., GUZZETI, F., PASQUI, V., REICHENBACH, P. (1991). GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard. Earth Surface Processes and Landforms, vol 16, 427-445.

CHACÓN, J., IRIGARAY, C. Y FERNÁNDEZ, T. (1992). Metodología para la cartografía regional de movimientos de ladera y riesgos asociados mediante un SIG. III Simposio de laderas y taludes inestables, vol.2, 121-133.

CHACÓN, J., IRIGARAY, C. (1992). Metodología para la elaboración de mapas de riesgos de movimientos de ladera. II Cong. Geol. España. Vol.2, 620-627.

CHACÓN, J., IRIGARAY, C. & FERNÁNDEZ, T. (1994). Large to middle scale landslides inventory, analysis and mapping with modelling and assessment of derived susceptibility, hazard and risks in a GIS. Proceedings of 7<sup>th</sup> International Congress of IAEG, 4669-4678.

CHACÓN, J. (1995). Landslides in the Central Betic Cordillera (Southern Spain). 3th. Workshop MeFisst: Meteorological factors influencing slope stability and slope movement types: evaluation of hazard prone areas. Granada, abril 1995.

CHACÓN, J., IRIGARAY, C. & FERNÁNDEZ, T. (1995). Methodology for large scale landslide hazard mapping in a G.I.S. Seventh International Conference and Field Workshop on Landslides, 77-82.

COLOM, G. (1975). Geología de Mallorca. 2 vol., Dip. Prov. Baleares, Inst. Est. Baleáricos, Patronato "Jose María Quadrado", CSIC, Mallorca, 519.

COLOM, G. Y RANGHEARD, Y. (1973). Données nouvelles sur l'extension de niveaux lacustres dans des formations du Miocène Inférieur de la Sierra Norte de Majorque (Baléares). Ann. Scient. de L'Univ. De Besançon (Geol), 3ème sér., fasc. 18, 115-129.

COLOM, G. (1947). Estudios sobre la sedimentación profunda de las Baleares desde el Lías Superior al Cenomanense- Turonense. Inst. Lucas Mallada C.S.I.C., 147.

C.O.P.O.T – U.I.B. (1988). Pla Territorial Parcial de la Serra de Tramuntana. Informe interno, sin publicar.

COROMINAS, J. (1984). Identificación de taludes inestables. Jornadas de Investigación aplicada en Ingeniería Geológica. Universidad de Cantabria. Santander, 27.

COROMINAS, J., MORENO, M., PUJALS, J.M. (1988). El comportamiento de las coladas de barro. Análisis mediante un balance de energía. II Simposio sobre Taludes y Laderas inestables, Andorra la Vella, 183-194.

COROMINAS, J., PEÑARANDA, R. Y BAEZA, C. (1988). Identificación de factores que condicionan la formación de movimientos superficiales en los valles altos del llobregat y Cardener. II Simp. Taludes y Laderas inestables. Andorra la Vella, 195-207.

COROMINAS, J. (1988). Criterios para la confección de mapas de peligrosidad de movimientos de ladera. Riesgos Geológicos. Serie Geología Ambiental. IGME. Madrid, 193- 201.



COROMINAS, J. (1989). Clasificación y reconocimiento de los movimientos de ladera. Monografía S.E.G. nº3, Zaragoza, 1- 30.

COROMINAS, J., ESGLEAS, J. & BAEZA, C. (1990). Risk mapping in the Pyrenees area: a case study. Proceedings of Hydrogeology in Mountainous Regions. II Artificial Reservoirs; Water and Slopes. IAHS Publ. nº.194, 425-428.

COROMINAS, J. (1993). Spatial prediction of landslides. J. Nemec et al. (eds), Prediction and Perception of Natural Hazards, 125-132.

COROMINAS, J. (1995). Landslide risk assessment and zoning. Planning the use of Earth's Surface. Cendrero A, Lüttig, G. & Wolff, F. Eds. Springer Verlag. In press.

COROMINAS, J., MOYA, J. (1996). La datación de deslizamientos: implicaciones dinámicas y climáticas. VI Congreso Nal y Conferencial Internal de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Vol. I, 337-356.

COROMINAS, J., MOYA, J. (1996). Historical landslides in the Eastern Pyrenees and their relation to rainy events. Landslides, Chacón, Irigaray & Fernández eds. Balkema, Rotterdam, 125-132.

COROMINAS, J. (1996). The angle of reach as a mobility index for small and large landslides. Canadian Geotechnical Journal. Vol 33, nº 2, 260-271.

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR (1999). El Juicio de Expertos. Colección Otros Documentos. 1999.

CRUDEN, D.M., VARNES, D.J. (1996). Landslides Types and Processes. Transportation Research Board, National Research Council. Special Report 247: Landslides: investigation and mitigation. Turner & Schuster, eds. Washintong, D.C, 36-71.

CUERDA, J. (1975). Los tiempos cuaternarios en Baleares. Diputación Provincial de Baleares. Inst. Est. Baleáricos, C.S.I.C., 304.

CUSTODIO, E. Y LLAMAS, M.R. (1983). Hidrología subterránea. Segunda Edición. Tomo I. Ed. Omega. 2350.

## **D**

DADES BALEARES (1998). Informe del Consell Interinsular. Conselleria de Economia i Hisenda.

DARDER PERICÁS, B. (1924 a). Origen de los deslizamientos de tierras en Fornalutx. La Almudaina, 25 de diciembre de 1924.

DARDER PERICÁS, B. (1924 b). Desprendimiento de tierras en Fornalutx. Majorica, Vida, Arte, num. 13, diciembre 1924.

DARDER, B. (1974). El Triásico de Mallorca. Trabajos del Museo Nal. de Ciencias Naturales., Ser. Geol. 7.

DE FREITAS, M. Lecture Notes. Master de Ingeniería Geológica. Universidad Complutense de Madrid.

DEGRAFF, J.V. & ROMERSBURG, H.G. (1980). Regional Landslide Susceptibility assessment procedure for Wildland management: a matrix approach. In D.R.

DÍAZ DE TERÁN, J.R., REMONDO, J., GONZÁLEZ – DÍEZ, A., CENDRERO, A., MARQUÍNEZ, J., MENÉNDEZ, R. (1998). New technologies for landslide hazard assessment and management in Europe. NEWTECH Final Report. CEC Environment Programme, ENV-CT96-0248. Universidad de Cantabria.16.

DIKAU, R.; BRUNDSSEN, D.; SCHROTT, L. & IBSEN, M.L. (1996). Landslide recognition. International Association of Geomorphologists, nº 5, John Willey & Sons, N. York, 251p.

## **F**

FALLOT, P. (1922). Etude géologique de la Sierra de Majorque. Thèse d'État. Libr. Polytechnique Ch. Béranger, Paris et Liège, 480 p.

FERNÁNDEZ, T., IRIGARAY, C., CHACÓN, J. Large scale analysis and mapping of determinant factors of landsliding affecting rock massifs in the eastern Costa del Sol (Granada, Spain) in a GIS. Proceedings Seventh International Congress of IAEG, 4649-4658.

FERRER, M., LÓPEZ, J.M., MATEOS, R.M., MORALES, R., RODRÍGUEZ PEREA, A. (1997). Análisis y estimación del riesgo de desprendimientos rocosos en la Cala de Banyalbufar (Mallorca). IV Simposio Nal. Sobre taludes y laderas inestables. Vol I, 365-376.

FERRER, M., LÓPEZ, J.M., MATEOS, R.M., MORALES, R., RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1997). Análisis de los desprendimientos rocosos que afectan a la Cala de Banyalbufar (Mallorca). Boletín Geológico y Minero. Vol. 108-2, 147-158.

FERRÚS, B., RODRÍGUEZ PEREA, A., SÀBAT, F. Y SERRANO, F. (1992). Dépôts miocènes syntectoniques dans la Serra de Tramuntana ( Ile de Majorque, Baléares). C.R. Acad. Sci. Paris, 314, Série II, 837-842.



FONTSERÉ, E. (1918). Notas sueltas de Sismología Balear. Publicaciones de la Sección de Ciencias Naturales de la facultad de Ciencias de la universidad de Barcelona. Guinart y Pujolar, impresores. 13.

FORNÓS, J.J. (1987). Les Plataformes carbonatades de les Balears. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona. 954.

FORNÓS, J.J., MARZO, M., POMAR, L., RAMOS, E. Y RODRIGUEZ PEREA, A. (1991). Evolución tectosedimentaria y análisis estratigráfico del terciario de la isla de Mallorca. Inf. F. COLOMBO Ed. I Congreso del Grupo Español del Terciario, Vic 1991. Libro-Guía Excursión nº2. Univ. Barcelona. Barcelona. 145.

FORNÓS, J., GELABERT, B. (1995). Litologia i tectònica del carst de Mallorca. ENDINS. Publicació d'Espeleologia, nº 20.

FUSTER, J. (1973). Estudio de las reservas hidráulicas totales de Baleares. Informe de Síntesis Gnal. Ministerio de Obras Públicas, Industria y Agricultura. Tomos I y II.

## **G**

GARRIDO, R. Y CASELLES, V. (1993). Estudio comparativo de la valoración del riesgo de lluvias fuertes mediante las distribuciones de Gumbel y Raíz. Caso de un observatorio del litoral mediterráneo. Avances en Geofísica y Geodesia, vol. I, año 1, 239-248.

GELABERT, B. (1995). Geología de la Serra de Tramuntana. Informe de la Junta de Aguas de Baleares. Sin publicar.

GELABERT, B. (1998). La Estructura Geológica de la Mitad Occidental de la Isla de Mallorca. Tesis Doctoral. I.T.G.E. Colección Memorias. 129 p.

GELABERT, B. (1998). La Isla de Mallorca dentro del contexto del Mediterráneo occidental. Revista de la Asociación Española para la Enseñanza de Ciencias de la Tierra. Vol. 6, nº2, septiembre 1998, p. 102-113.

GELABERT, B., SABAT, F. Y RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1992). A structural outline of the Serra de Tramuntana of Mallorca ( Balearic Island). Tectonophysics, 203, p. 167-183.

GINÉS, A., GINÉS J. (1995). Les formes exocàrstiques de L'Illa de Mallorca. ENDINS, nº 20. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 3. 1995. Palma de Mallorca. 59-70.

GINÉS, A. (1998). L' exocarst de la Serra de Tramuntana. Aspectes geològics de les Balears. Fornós Ed. Universitat de Les Illes Balears. 361-389.

GONZÁLEZ – Díez, A., Remondo, J., Díaz de Terán, J.R., Cendrero, A. (1999). A methodological approach for the analysis of the temporal occurrence and triggering factors of landslides. *Geomorphology* 30 (1999), 95-113.

GONZÁLEZ, A., Díaz de Terán, J.R., Cendrero, A. (1992). A two- steep method of geomorphological mapping for the classification of slope movements and for the assessment of their contribution to erosion and landscape evolution. *Environmental Geology and Applied Geomorphology in Colombia*. J.E. López – Rendón, ed. AGID Report 16, 161-170.

GOULA, X., OLIVERA, C., FLETA, J., GRELLET, B., LINDO, R., RIVERA, L.A., CISTERNAS, A., CARBÓN, D. (1999). Present and recent stress regime in the eastern part of the Pyrenees. *Tectonophysics* 308 (1999). 487-502.

GOY, J.L. & ZAZO, C. (1989). The role of neotectonics in the morphologic distribution of the quaternary marine and continental deposits of the Elche Basin, southeast Spain. *Tectonophysics*, 163 (1989), 219-225.

GRIMALT, M. (1992). *Geografia del Risc a Mallorca. Les Inundacions*. Monografia del Institut d'Estudis Balearics. 359.

GUIJARRO, J.A. (1986). *Contribución a la bioclimatología de Baleares*. Tesis Doctoral. Universitat de les Illes Balears. II Vols.

GUIJARRO, J. A. (1981). *Radiación solar sobre laderas: aplicación a los taludes costeros del SW de Mallorca y relación con la vegetación*. Tesis de Licenciatura. Universitat de les Illes Balears.

## **H**

HANSEN, A. (1987). *Landslide Hazard Analysis*. In: *Slope Stability*. BRUNSDEN & PRIOR (Editors). Wiley & Sons, 523-603.

HANSEN, A. (1994). *Landslide hazard analysis*. In "Slope Instability", Brunsden & Prior D.B. eds. Wiley, New York, 523-602..

HARTLEN, J., VIRBERG, L. (1988). *Evaluation of landslide hazard*. 5th. Int. Congress on Landslides. Lausanne. Vol.2, 1037-1057.

HERRAIZ, M., DE VICENTE, G., LINDO, R., GINER, J., VADILLO, O., RODRÍGUEZ PASCUA, M., CABAÑAS, J.L., CASADO, J.G., CICUÉNDEZ, J.I. (1997). A new approach to the recent (upper Miocene) and present stress states in Spain. 29th Genral Assembly IASPEI. Thessaloniki, Greece. Abstract Programs 16. 18-28.



HOEK, E. & BRAY, J. (1977). Rock Slope Engineering. Institut of Mining and Metallurgy. London.

HUNT, E (1983). Geotechnical engineering investigation manual. McGraw- Hill, New York.

HUTCHINSON, J.N. (1988). Morphological and geotechnical parametres of landslides in relation to geology and hidrogeology. 5Th. Int. Congress on Landslides. Lausanne. Vol.1, 3-35.

## *I*

ICONA (1977). Estudio geotécnico del margen izquierdo del Torrente de Fornalutx (Mallorca). Informe interno, sin publicar.

I.G.M.E. (1987). Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España. Monografías del IGME. 91.

IRIGARAY, C., FERNÁNDEZ, T., CHACÓN, J. (1994). GIS landslide inventory and analysis of determinant factors in the sector of Rute (córdoba, Spain). Proceedings of 7<sup>th</sup> International Congress of IAEG, 4659-4668.

IRIGARAY, C. (1995). Movimientos de ladera: Inventario, análisis y cartografía de susceptibilidad mediante un S.I.G.aplicación a las zonas de Colmenar (Ma), Rute (Co) y Montefrío (Gr). Tesis Doctoral. Universidad de Granada.

IRIGARAY, C., FERNÁNDEZ, T., CHACÓN, J. (1997). Validación de un método de análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera. Aplicación al sector de Rute.IV Simposio Nal. Sobre taludes y laderas inestables. Vol I, 39-51.

I.S.R.M. (1981). Rock characterization testing & monitoring. I.S.R.M. Suggested Methods. Editor. E.T. BROWN. Pergamon Press.

I.T.G.E. (1991). MAGNA. Escala 1:50,000. Hojas: Andratx (697), Sóller (670), Palma (698).

I.T.G.E. (1991). Manual de Ingeniería de taludes. Serie: Ingeniería GeoAmbiental. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.

I.T.G.E. (1992). Mapa geotécnico para ordenación territorial y urbana de Palma de Mallorca, E:1/ 25,000.

I.T.G.E. (1991). Programas de apoyo informático a la Hidrogeología (PAI). Evaluación de aportaciones (HIDROBAS).

I.T.G.E. (1998). Estudio de los desprendimientos rocosos que afectan a la Cala de Banyalbufar. Informe interno. Sin publicar.

I.T.G.E. (1999). Manual de Campo para la Descripción y Caracterización de Macizos Rocosos en Afloramientos. Ferrer y Vallejo Eds.

I.T.G.E. (1996,1997,1998,1999). Informes técnicos de los sondeos de investigación: Can Sureda, Almadrava'96, Almadrava'97, Can Calent, Can Llobera, Can Musqueroles, Son Marc. Informes internos. Sin publicar.

## **J**

JIMÉNEZ SALAS, J.A. Y ALPANEZ, J. (1975). Geotecnia y Cimientos, vol. 1. Editorial Rueda. 466.

## **K**

KEATON, J.R., DE GRAFF, J. V. (1996). Surface Observation and Geologic Mapping. Transportation Research Board, National Research Council. Special Report 247: Landslides: investigation and mitigation. Turner & Schuster, eds. Washintong, D.C, 178-227.

KELLER, E.A. (1983). Investigation of Active Tectonics: Use of Surficial Earth Processes. Active Tectonics. National Academy Press. Washintong D.C.

KENNEY, C. (1987). Properties and Behaviours of Soils Relevant to Slope instability. In: Slope Stability. BRUNSDEN& PRIOR (Editors). Wiley & Sons, 27-63.

## **L**

LABORATORIO BALEAR PARA LA CONSTRUCCIÓN (1999). Informe geotécnico del emplazamiento de Es Guix (Escorca, Mallorca). Informe interno.

LOMOSCHITZ MORA – FIGUEROA, A. (1999). La Depresión del barranco de Tirajana, Gran Canaria. Premio de Investigación “Simón Benítez Padilla”, 1994. Ediciones del Cabildo de Gran Canaria.

LOMOSCHITZ MORA – FIGUEROA, A., COROMINAS, J. (1997). Actividad histórica y características de los movimientos de ladera de Rosiana, Gran Canaria. Boletín Geológico y Minero. Vol. 108-6. Año 1997, 553-568.

LUTTON, R.J.(1977). Rockslides and avalanches. Enginnering sites,2. Elsevier, Amsterdam.152-224.



## **M**

MANZANO, M., CUSTODIO, E., RIERA, X., GONZÁLEZ, C., BARÓN, A., DELGADO, F. (2000). 16<sup>TH</sup> Salt Water Intrusion Meeting. Mudzyzohoje, Poland. Internal report.

MASANA, E. (1996). Evidence for past earthquakes in an area of low historical seismicity: the catalan coastal ranges, NE Spain. *Annali di Geofisica*, Vol. XXXIX, N.3, May 1996.

MATEOS, R.M, FERRER, M. (1994). Methodology for landslides hazard map in the Monachil area 1:10,000 (Granada, Spain). *Proceedings Seventh International Congress International Association of Engineering Geology*. Lisboa. Vol III, 2059-2064.

MATEOS, R.M., TSIGE, M. (1998). Slope instability associated to clayey marls in the Cove of Banyalbufar, Mallorca Island, Spain. *Proceedings of the second International Symposium on hard soils- soft rocks*. A. Evangelista & L. Picarelli Editors. Balkema, vol. II, 1117-1125

MATEOS, R.M. (1998). Diversos aspectes geotècnics de la Serra de Tramuntana de Mallorca: riscos geològics associats. *Aspectes geològics de les Balears*. Universitat de les Illes Balears. J. J. Fornós Editor, 435-457.

MATEU, B. (1914). *Historia del pueblo de Mancor*. Edic. 2<sup>a</sup>. Establecimiento Tipográfico La Esperanza, Palma de Mallorca, 26-30.

MÉAR, Y (1984). Séquences et unités sédimentaires du glacis rhôdaines (Méditerranée occidentale). Thèse 3<sup>ème</sup> cycle. Université de Perpignan. 223.

MOIRA, J. HANSEN (1987). Strategies for Classification of Landslides. In: *Slope Stability*. BRUNSDEN & PRIOR (Editors). Wiley & Sons, 1-23.

MOPTMA, DIRECCIÓN GENERAL DE COSTAS (1995). Estudio de la biosfera marina y evaluación del impacto ambiental por el dragado de la Costa Norte de Mallorca. Tomo I y II. Sin publicar.

MOPT, DIRECCIÓN GENERAL DE COSTAS (1992). Estudio Geofísico marino de la Costa Norte de la Isla de Mallorca ( Balears). Tomos I, II y II. Album fotográfico, tomos I y II. Sin publicar

MOPT, DIRECCIÓN GENERAL DE COSTAS (1993). Campaña de sondeos marinos en la Costa Norte de Mallorca. Tomo I y II. Sin publicar.

MOPU (1980). Plan Indicativo de Usos del Dominio Público Litoral. Informe interno. Sin publicar.

MOPU, DGOH. (1994). Túnel Sa Costera- Sóller (Geología y Sondeos). Informe interno. Inédito.

MORALES, R. (1999). Análisis de la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones intensas en la Serra de Tramuntana (Mallorca). Sin publicar.

MOYA, J., COROMINAS, J. (1996). Determination of the spatial and temporal activity of landslides based on tree-ring analysis. Landslides, Senneset ed. Balkema, Rotterdam, 321-327.

## **N**

NAVFAC (1971). Geological engineering parametres. [www.nfesc.navy.mil](http://www.nfesc.navy.mil).

## **O**

OLIVERA, C., SUSAGNA, T., ROCA, A. & GOULA, X. (1992). Seismicity of the Valencia trough and surrounding areas. Tectonophysics, 203 (1992). 99-109.

## **P**

PARRILLA, G. Y PALACIOS, D. (1995). Coladas de derrubios (debris flows) en Gredos y su significado climático: el caso de Albarea (1989), en T. Aleixandre y A. Pérez González (eds.) Reconstrucción de paleoambientes y cambios climáticos durante el Cuaternario, Centro de Ciencias Medioambientales (CSIC), Madrid, 215-226.

PEDRAZA, J. (1997). Geomorfología. Principios, Métodos y Aplicaciones. Editorial Rueda. 414.

POMAR, L. (1976). Occurrence of large – scale cement precipitation in the mixing zone of Mallorca Island (Spain) during the Pleistocene and present day. ENDINS, 3, Palma de Mallorca. 3-25.

POMAR, L. Y COLOM, G. (1977). Depósitos de flujos gravitatorios en el Burdigaliense de Es Racó de's Gall- Auconassar (Sóller, Mallorca). Bol. Soc. Hist. Natur. Baleares, nº22, p. 119-136.

POMAR, L. (1979). La evolución tectonosedimentaria de las Baleares: análisis crítico. Acta Geol. Hispánica, 14, 293-310.

POMAR, L. RIBA, O., RODRÍGUEZ-PEREA, A. Y SANTANACH, P. (1983). Estructuras de deformación en el Mioceno inf. del Port de's Canonge y del Macizo de Randa (Mallorca). L. Pomar, A. Obrador, J.J. Fornós y A. Rodríguez Perea. Eds. El Terciario de las Baleares. Guía de las excursiones del X Congr. Nac. Sedim. Menorca 1983. Inst. Estudios Baleàrics. Universitat de Palma de Mallorca, 45-57.



POMAR, L., RODRÍGUEZ PEREA, A., FORNÓS, J., GINÉS, J., FONT, A, MORA, A. (1987). Late Quaternary sea – level changes in Spain. Trabajos sobre Neógeno-Cuaternario. Museo Nacional de Ciencias Naturales. C.S.I.C.. C, ZAZO Ed. 197-223.

POMAR, L. (1989). Espeleotemas freáticos, karst litoral y oscilaciones del nivel del mar durante el Cuaternario en la Isla de Mallorca. El Karst en España. Monografía 4, S.E.G. J.J. Durán y J.López- Martínez Eds. 1989. Madrid. 265-274.

POMAR, L., RODRÍGUEZ-PEREA, A., SABAT, F.Y FORNÓS, J.J. (1990). Neogene stratigraphy of Mallorca Island. In : J. Agustí, R. Domenech, R. Julia y J. Martinell (Eds). Iberian Neogen Basins. Field Guidebook. Paleont. Evol. (Men. Especial), 2, 271-320.

PUJO, M. (1852): Sur un tremblement de terre qui s'est fait sentir à Mayorque le 15 mai 1851. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, XXXIII, num.3.

## R

RAMOS GUERRERO, E. (1988). El Paleógeno de las Baleares. Estratigrafía y Sedimentología. Tesis Doctoral. 3 vol. Universitat de les Illes Balears, Universitat de Barcelona. 219.

RAMOS-GUERRERO, E., MARZO, M., POMAR, L. Y RODRÍGUEZ PEREA, A. (1985). Estratigrafía y sedimentología del paleógeno del sector occidental de la Sierra Norte de Mallorca (Baleares). Rev. Inv. Geol. Dip. Prov. Barcelona, 40, 29-63.

RAMOS GUERRERO, E., RODRÍGUEZ PEREA, A., SÀBAT, F. Y SERRA – KIEL, J. (1989). Cenozoic tectosedimentary evolution of Mallorca Island. Geodinamica Acta (Paris) 3 (1). 53-72.

RITA, J. (1998). Els Pisos de vegetació de la Serra de Tramuntana. Papers de Medi Ambient. Sa Nostra, Caixa de Balears. Obra Social i Cultural. 59-69.

ROCA, E. Y VERGES, J. (1989). Estudio de la evolución neógena del sector suroccidental de la Serra de Tramuntana (Mallorca). Bol. Geol. Min. C (5), 842-852.

RODRÍGUEZ- PEREA, A. (1981). Estudio sedimentológico del Mioceno basal transgresivo de la Sierra Norte de Mallorca. Tesis de Licenciatura. Univ. Barcelona. Inédito.

RODRÍGUEZ- PEREA, A. & POMAR, L. (1983). El Mioceno de la Sierra Norte de Mallorca (Sector occidental). Acta Geol.Hisp., 18, 105-116.

RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1984). El Mioceno de la Serra Nord de Mallorca. Estratigrafía, sedimentología e implicaciones estructurales. Tesis Doctoral. Universidades de Les Illes Balears y Barcelona. 532.

RODRÍGUEZ- PEREA, A. & RAMOS, E. (1984). Presencia de Paleozoico en la Serra de Tramuntana (Mallorca). Bol. Soc. Hist. Nat. Balears, 28, 145-148.

RODRÍGUEZ- PEREA, A. (1986). Megaturbiditas calcáreas en el Mioceno de Mallorca. Fm Turbidítica de Banyalbufar. XI Congreso español de Sedimentología, 153.

RODRÍGUEZ PEREA, A., RAMOS GUERRERO, E., POMAR, L., PANIELLO, X., OBRADOR, A. Y MARTÍ, J. (1987). El Triásico de las Baleares. Estratigrafía y Paleogeografía del Pérmico y Triásico en España. Cuadernos de Geol. Ibérica, 11, 295-321.

RODRÍGUEZ PEREA, A. (1998). La geología de la Serra de Tramuntana. La Serra de Tramuntana, aportacions per a un debat. Papers de Medi Ambient, Sa Nostra Ed. 11-22.

RODRÍGUEZ PEREA, A. Y GELABERT, B. (1998). Geología de Mallorca. Aspectes geològics de les Balears, p. 11-39. Fornós Ed. Universitat de Les Illes Balears, 11-38.

RULLÁN, J. (1885). Inundación de Sóller y Fornalutx. Capítulo adicional a la Historia de Sóller en sus relaciones con la general de Mallorca. Palma. Imprenta de Felipe Guasp y Vicenns. 70.

## **S**

SÀBAT, F. (1986). Estructura geològica de les Serres de Llevant de Mallorca (Balears). Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona. 2 vols. 120.

SANTANACH, P.F., SANZ DE GALDEANO, C. Y BOUSQUET, J.C. (1980). Neotectónica de las regiones mediterráneas de España (Cataluña y Cordilleras Béticas). Boletín Geológico Minero. T.XCI-II. Año 1980, 417-440.

SANZ DE GALDEANO, C. (1990). Geologic evolution of the Betic Cordilleras in the western Mediterranean, Miocene to the present. Tectonophysics, 172 (1990), 107-119.

SAVOYE, B. & PIPER, D.J.W. (1993). Quaternary sea-level change and sedimentation on the continental shelf and slope of Antibes, French Riviera. Geomarine letters, 13. 2-8.

SILVA, P.G., GONZÁLEZ HERNÁNDEZ, F.M., GOY, J.L., ZAZO, C. MÖRNER, N.A., (1999). Quaternary reverse surface faulting in Mallorca Island (Balears, Spain): relationship with historical seismicity. Geogaceta nº 26, 1999, 103-106.

SKEMPTON, A.W., HUTCHINSON, J.N. (1969). Stability of natural slopes and embankment foundations. Proc. 7<sup>th</sup> Internal Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Sociedad Mexicana de Suelos. México City, State of the Art Volumen. 291-340.



SOETERS,R., VAN WESTEN, C. J. (1996). Slope Instability Recognition, Analysis. And Zonation. Transportation Research Board, National Research Council. Special Report 247: Landslides: investigation and mitigation. Turner & Schuster, eds. Washintong, D.C, 129-173.

SOMOZA,L., ZAZO, C. GOY, J.L., MORNER, N.A. (1989). Estudio geomorfológico de secuencias de abanicos aluviales cuaternarios (Alicante - Murcia, España). Cuaternario y Geomorfología, vol.3 (1-4), 73-82.

SPIROS B. PAVLIDES (1989). Looking for a definition of neotectonics. Terra Nova (1989), vol.1, N.3.

## **T**

TIEN H.WU, WILSON H. TANG & HERBERT H. EINSTEIN (1996). Landslide Hazard and Risk Assessment. Transportation Research Board, National Research Council. Special Report 247: Landslides: investigation and mitigation. Turner & Schuster, eds. Washintong, D.C, 106-116.

TORRES, J.A., (1995). Analyse détaillé du transfert de sédiment du continent vers le bassin: le Quaternary terminal au large du Delta du Rhône. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona y Université de Bretagne occidental. 353.

## **U**

U.I.B. DEPARTAMENT DE CIÈNCIES DE LA TERRA (1991). Libro-Guía de las Excursiones de las VII Jornadas de Campo de Geografía Física, 75-109.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (1977). Rock slope engineering: workshop of planning, design, construction and maintenance of rock slopes for highways and railways. Federal Highways Administration, Washintong D.C.

## **V**

VAN WESTEN, C.J. & TERLIEN, M.T.J. (1996). An approach towards deterministic landslide hazard analysis in GIS. A case study from Manizales (Colombia). Earth Surface Processes and Landforms, 21, 853-868.

VARNES, D.J. (1978): Slope-Movements. Types and Processes. In Special Report 176: Landslides: Analysis and Control. Schuster and Krizeck, Eds. TRB, National Research Council, Washintong D.C., 11-33.

VARNES. D.J. (1984): Landslide Hazard Zonation. A Review of principles and practice. UNESCO, Natural Hazard Series nº 3. Paris, France, 63.

VERGÉS, J., LEWIS, C., MARZO, M.(1997). Fluvial drainage and topography related to extension: NE of Iberia. Sin referenciar.

VIÑALS, M.J.; FUMANAL, M.P. (1983). Modelo de evolución de una costa acantilada durante el Cuaternario: Cap de la Nau – Punta Moraira. El Cuaternario en España y Portugal. Vol.I, 25-32.

## ***W***

WERNER-BÄR, F. (1999). Atlas Internacional del Karst. Hoja 5: Lluc/Sierra Norte (Mallorca). Endins, nº14-15, Palma de Mallorca, 27-41.

WIECZOREK, G. F. (1996). Landslide Triggering Mechanisms. Transportation Research Board, National Research Council. Special Report 247: Landslides: investigation and mitigation. Turner & Schuster, eds. Washintong, D.C, 76-87.

WOOD, E. (1975). Suggested system for classifying shale materials for embankment. Bulletin of Enginnering geological 12, 1, 39-55.



## **ANEXOS**

**I. - FICHAS INVENTARIO DE MOVIMIENTOS DE LADERA**

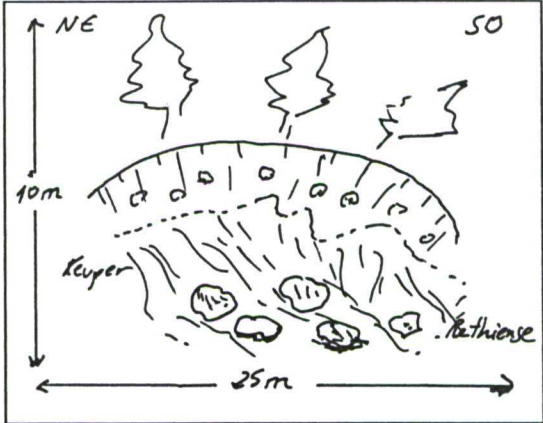
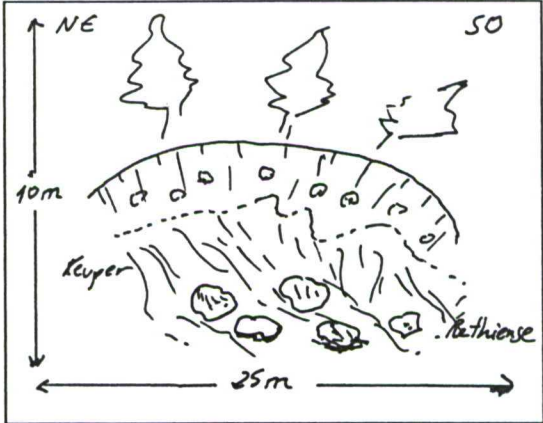
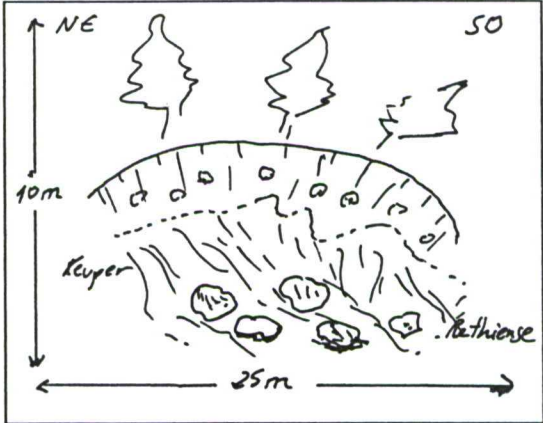
**II. – ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES INTENSAS**

## **ANEXO I**


FICHAS INVENTARIO DE MOVIMIENTOS DE LADERA



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA.

<b>PROCESOS:</b> Movimiento de ladera	<b>REGISTRO N°:</b> 1
<b>Fecha de registro:</b> 6 de febrero de 1998	Fotografía n°: 1,2
<b>Paraje:</b> Camino de Son Marroig a Sa Foradada <b>Municipio:</b> Deià <b>n° hoja 1:50,000:</b> <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670- I <b>Coordenadas X:</b> 468,20 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 44001 <b>Activo:</b> si	
<b>Tipo de movimiento:</b> deslizamiento rotacional	
<b>Litología:</b> Cuaternario aluvial. Bloques heterométricos angulosos de calizas y dolomías, en una matriz arenarcillosa. Aparecen también hacia la base del deslizamiento unas arcillas violáceas ¿Keuper?. In situ, brechas oscuras con planos de diaclasas recristalizados y paralelos al talud, con indicios de rotura.	
<b>Orientación del talud:</b> NW	
<b>Estructura:</b> no se aprecia. Caótico.	
<b>Altura del talud:</b> 9,5 m	
<b>Pendiente del talud:</b> 60°	
<b>Superficie afectada:</b> 230 m <sup>2</sup>	
<b>Volumen:</b> 320 m <sup>3</sup>	
<b>Profundidad del plano:</b> 1,5 m	
<b>Presencia de agua:</b> mojado ( dos días antes fuertes lluvias)	
<b>Vegetación:</b> ausencia. Las raíces de los pinos de cabecera quedan al descubierto.	
<b>Estado de alteración:</b> alterado	
<b>Desencadenante:</b> Lluvias y la apertura del camino	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> afecta el camino de acceso a Sa Foradada. Aparecen grietas longitudinales al camino.	
<b>Notas de interés:</b> Nota: se ha tomado muestra de las arcillas violáceas	

FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> Movimiento de ladera		<b>REGISTRO N°:2</b>
<b>Fecha de registro:</b> 6 de febrero de 1998		<b>Fotografía n°:</b> 3,4,5,6
<b>Paraje:</b> Camino de Son Marroig a Sa Foradada. Km 1,5 <b>Municipio:</b> Deià <b>n° hoja:</b> 1:50,000: <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670-I <div style="margin-left: 100px;">Coordenadas X: 468,10</div> <b>U.T.M.</b> Coordenadas Y:44001 <b>Activo :</b> Si		
<b>Tipo de movimiento:</b> Desprendimiento rocoso  <b>Litología:</b> Brecha poligénica y heterométrica. Los cantos pueden ser desde micrométricos hasta tener más de 1m <sup>3</sup> de volumen. La matriz es amarillenta arenosa. Edad Rethiense.  <b>Estructura:</b> Desde lejos se observa una cierta estratificación subhorizontal, parecen estructuras sedimentarias de corriente.  <b>Orientación del talud:</b> NW  <b>Altura del talud:</b> 15 m  <b>Pendiente del talud:</b> 85°  <b>Superficie afectada:</b> 750m <sup>2</sup>  <b>Volumen:</b> bloques de varios m <sup>3</sup>  <b>Presencia de agua:</b> Si. Goteo continuo  <b>Vegetación:</b> ausencia		
		
<b>Estado de alteración:</b> muy importante la karstificación. Formas de disolución, formando grandes huecos alveolares y costras de deposición de carbonatos.  <b>Desencadenante:</b> descalce producido por disolución kárstica.		
<b>Daños materiales y afecciones:</b> Camino de Sa Foradada		
Notas de interés:		



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

**PROCESOS:** movimientos de ladera

**REGISTRO N° 3**

**Fecha de registro:** 6 de febrero de 1998

**Fotografías:** 8,9,10

**Paraje:** Camino Son Marroig Sa Foradada

**Municipio:** Deià

**n° hoja 1:50,000:**

**n° hoja 1:25,000:** 670-I

**Coordenadas X:** 468,07

**U.T.M. Coordenadas Y:** 44003

**Activo :** Si

**Tipo de movimiento:** Caída de rocas (desprendimientos)

**Litología:** Pié de monte. Sedimentos coluviales del cuaternario. Grandes bloques de calizas y dolomías liásicas procedentes de los farallones, envueltos en matriz areno-arcillosa. Bloques heterométricos de hasta 30m<sup>3</sup> de volumen.

En las zonas de tormentadas hay una gran acumulación de bloques (sin matriz).

**Estructura:** caótica

**Orientación del talud:** NW

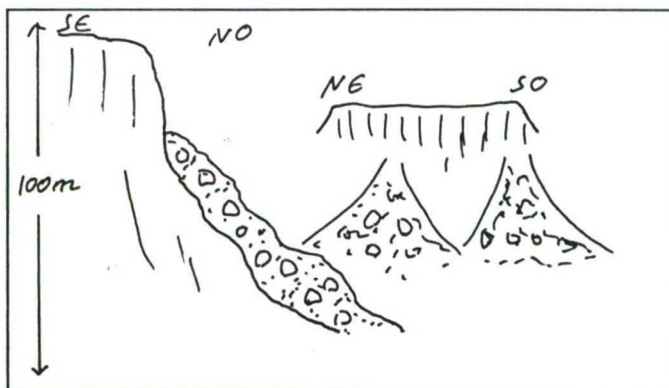
**Altura del talud:**

**Pendiente del talud:** 50°

**Superficie afectada:**

**Volumen:**

**Profundidad del plano:**



**Presencia de agua:** Si ( dos días después de fuertes lluvias)

**Vegetación:** Si. Se observan pinos que han crecido adaptándose a la forma de los grandes bloques. En las zonas de tormentadas aparecen numerosos pinos volcados. En general los pinos se inclinan hacia la ladera

**Estado de alteración:** normal

**Desencadenante:** lluvias

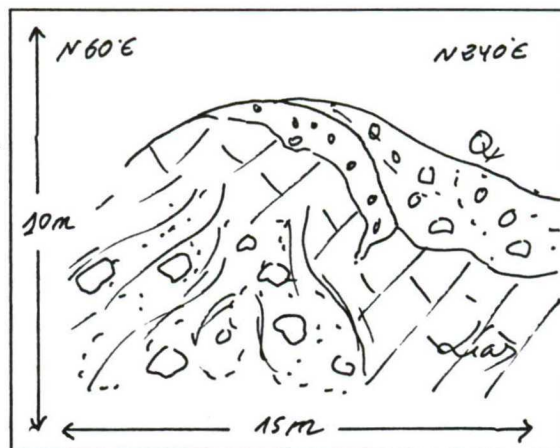
**Daños materiales y afecciones:**

Numerosos bloques, de varios m<sup>3</sup> de volumen, aparecen rodados hasta el camino.

**Notas de interés:** Fotografía desde Sa Foradada. Se observa que estos sedimentos tapizan el pié de los acantilados costeros, con potencias superiores a los 15 m.

FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> movimiento de ladera <b>Fecha de registro:</b> 12/2/98	<b>REGISTRO N° 4</b> <b>Fotografías:</b> 11
<b>Paraje:</b> Camino Sa Marina de Valldemossa- S`Estaca <b>Municipio:</b> Valldemossa <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670-III <b>Coordenadas X:</b> 465,35 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 397,25 <b>Activo:</b> si	
<p><b>Tipo de movimiento:</b> deslizamiento rotacional en roca. Se observa una cicatriz de ruptura circular</p> <p><b>Litología:</b> calizas liásicas muy fracturadas y alteradas, delimitando bloques de diversos tamaños. A techo hay un contacto erosivo y depósitos aluviales cuaternarios superpuestos, que tienen más de 1,5 m de espesor. La rotura afecta a ambas litologías.</p> <p><b>Estructura:</b> Se observan planos de buzamiento en las calizas del Lías. N40°E/ 55°NE</p> <p><b>Orientación del talud:</b> abierto hacia el NW</p> <p><b>Altura del talud:</b> 6m</p> <p><b>Pendiente del talud:</b> 53°</p> <p><b>Superficie afectada:</b> anchura 12 m . 80 m<sup>2</sup></p> <p><b>Volumen:</b> 320 m<sup>3</sup></p> <p><b>Profundidad del plano:</b> 4m</p> <p><b>Presencia de agua:</b> no aparente.</p> <p><b>Vegetación:</b> no</p> <p><b>Estado de alteración:</b> muy alterado</p> <p><b>Desencadenante:</b> erosión pié del talud- apertura del camino.</p>	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> camino (bloques caídos)	
<b>Notas de interés:</b> En la base del talud aparece una morfología alomada de los materiales movilizados	





FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

**PROCESOS:** movimientos de Ladera

**REGISTRO N°5**

**Fecha de registro:** 12/2/98

**Fotografía:** 12

**Paraje:** Camino de Sa Marina de Valldemossa- S` Estaca

**Municipio:** Valldemossa

**n° hoja 1:50,000:** 670

**n° hoja 1:25,000:** 670 III

**Coordenadas X:** 465,4

**U.T.M. Coordenadas Y:** 397,4

**Activo :** si

**Tipo de movimiento:** Deslizamiento planar en rocas.

**Litología:** Bloques angulosos de calizas liásicas muy heterométricos, hasta varios m<sup>3</sup> de volumen. En superficie no se observa matriz de soporte entre los bloques, éstos aparecen sueltos.

**Estructura:** Se trata de un canchal . caótica

**Orientación del talud:** abierto hacia el NW

**Altura del talud:** 80 m

**Pendiente del talud:** 35°

**Superficie afectada:** anchura 70 m- 14,000 m<sup>2</sup>

**Volumen:** > 70,000 m<sup>3</sup>

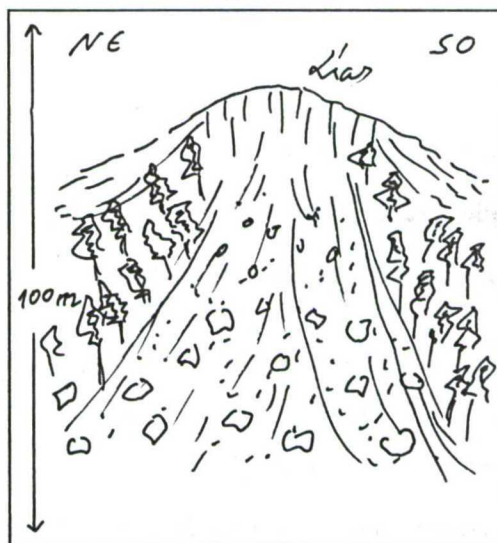
**Profundidad del plano:** > 4 m

**Presencia de agua:** no aparente

**Vegetación:** no, aparecen pinos volcados

**Estado de alteración:** poco alterado

**Desencadenante:** lluvias



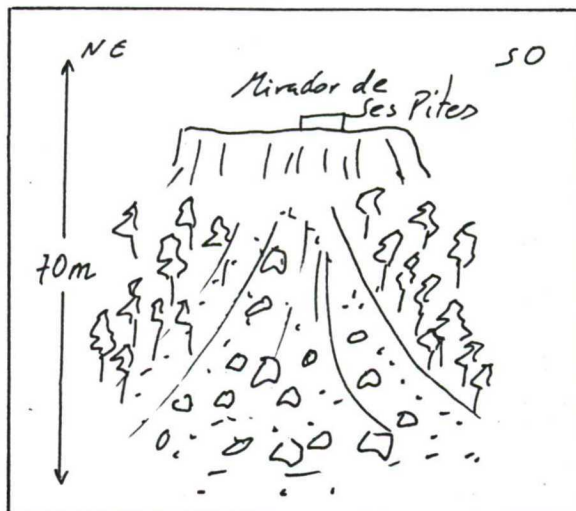
**Daños materiales y afecciones:**

caminos y accesos

**Notas de interés:** se puede definir como un canchal de grandes dimensiones. Hay varios más laterales a lo largo del camino.

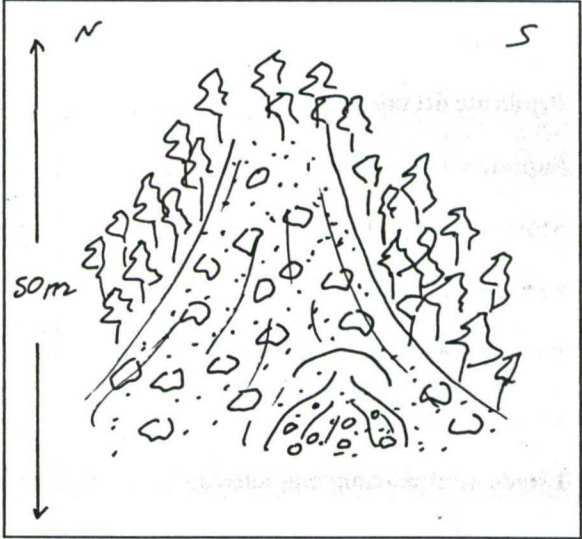
FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> Movimiento de ladera <b>Fecha de registro:</b> 12/2/98	<b>REGISTRO N°6</b>
<b>Paraje:</b> Binidurí <b>Municipio:</b> Valldemossa <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670- III <b>Coordenadas X:</b> 466,25 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 398,45 <b>Activo:</b> Si	
<p><b>Tipo de movimiento:</b> Cono de deyección. Canchal de rocas. Proceden de los frisos de calizas liásicas (frentes de cabalgamiento).</p> <p><b>Litología:</b> Cuaternario aluvial. Grandes bloques angulosos y heterométricos de calizas liásicas, envueltos en una matriz areno-arcillosa.</p> <p><b>Estructura:</b> Caótica</p> <p><b>Orientación del talud:</b> abierto hacia el W</p> <p><b>Altura del talud:</b> 60 m.</p> <p><b>Pendiente del talud:</b> 50°</p> <p><b>Superficie afectada:</b> 3,600 m<sup>2</sup></p> <p><b>Volumen:</b></p> <p><b>Profundidad del plano:</b></p> <p><b>Presencia de agua:</b> si, matriz húmeda</p> <p><b>Vegetación:</b> arrollada de pinos. Han crecido pequeñas encinas y pinos que deben tener unos 10 años de edad.</p> <p><b>Estado de alteración:</b> normal</p> <p><b>Desencadenante:</b> lluvias</p>	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> camino y zona superior de la Posesión de Binidurí	
<p><b>Notas de interés:</b>          Para orientarse en foto aérea, justo debajo del mirador de Ses Pites.</p>	





FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> movimientos de ladera <b>Fecha de registro:</b> 12/2/98	<b>REGISTRO N° 7</b>
<b>Paraje:</b> S'Estaca (antes de bajar la por el camino de la Cala) <b>Municipio:</b> Valldemossa <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670-III <b>Coordenadas X:</b> 466,28 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 398,30 <b>Activo :</b> si	
<b>Tipo de movimiento:</b> cono de deyección (canchal)	
<b>Litología:</b> Cuaternario aluvial, grandes bloques heterométricos y angulosos envueltos en una matriz arcillo-arenosa. Los bloques parecen ser monogénicos, procedentes de los frisos de calizas liásicas.	
<b>Estructura:</b> caótica	
<b>Orientación del talud:</b> N20°E (abierto hacia el W)	
<b>Altura del talud:</b> 30m	
<b>Pendiente del talud:</b> 40°	
<b>Superficie afectada:</b> 2000 m <sup>2</sup>	
<b>Volumen:</b> >10,000 m <sup>3</sup>	
<b>Profundidad del plano:</b> > 5m	
<b>Presencia de agua:</b> si, matriz húmeda	
<b>Vegetación:</b> si, pinos viejos volcados	
<b>Estado de alteración:</b> alterado	
<b>Desencadenante:</b> lluvias	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> Camino	
<b>Notas de interés:</b>  Al pié del talud se observan pequeños deslizamientos circulares, probablemente ocasionados por la apertura del camino.	

FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> Mov ladera en litoral <b>Fecha de registro:</b> 12/2/98	<b>REGISTRO N°8</b> <b>Fotografías:</b> 16,17,18,19,20
<b>Paraje:</b> Port de S'Estaca <b>Municipio:</b> Valldemossa <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670-III <b>Coordenadas</b> X:466,18 <b>U.T.M.</b> Y:398,75 <b>Activo:</b> si	
<p><b>Tipo de movimiento:</b> desprendimientos, deslizamiento rotacional y deslizamientos en cuña</p> <p><b>Litología: Facies Keuper:</b> limolitas y margas rojas con niveles de dolomías y carniolas, rocas volcánicas</p> <p><b>Estructura:</b> Se observa una estratificación N20°E / 27° S. Se observan discontinuidades, pero no se pueden agrupar en familias.</p> <p><b>Orientación del talud:</b> NNW</p> <p><b>Altura del talud:</b> 50 m</p> <p><b>Pendiente del talud:</b> 51°</p> <p><b>Superficie afectada:</b> todo el talud de la cala</p> <p><b>Morfología del talud:</b> semielíptica</p> <p><b>Profundidad del plano:</b></p> <p><b>Presencia de agua:</b> no aparente</p> <p><b>Vegetación:</b> en cabecera</p> <p><b>Estado de alteración:</b> muy alterado</p> <p><b>Desencadenante:</b> erosión marina y lluvias. Retroceso activo de acantilados costeros.</p>	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> cala de S'Estaca	
<p><b>Notas de interés:</b> Es importante resaltar la diversidad de movimientos en el talud de la Cala. Hacia el E del talud, se observan pequeños deslizamientos en cuña. En el centro aparece un deslizamiento rotacional y a lo largo del talud numerosos desprendimientos. En la base de la Cala, fruto de la dinámica litoral, se observan la acumulación de numerosos bloques, algunos de enormes tamaños.</p>	



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

**PROCESOS:** movinientos de ladera (litoral)

**Registro nº:** 9

**Fecha de registro:** 19/02/98

**Fotos:** 16,17,18,19,20

**Paraje:** Cala Deià - Lluc-Alcari (antes de llegar a Es Vinyet)

**Municipio:** Deià

**nº hoja 1:50,000:** 670

**nº hoja 1:25,000:** 670-I

**Coordenadas X:** 469,55

**U.T.M. Coordenadas Y:** 401,52

**Activo:** si - dinámica litoral

**Tipo de movimiento:** desprendimientos de los grandes bloques calizos de los sedimentos coluviales cuaternarios.

**Litología:** calizas (intrabiomicritas) arenosas con cuarzo y fragmentos de briozoos, moluscos y equinodermos que afloran en la base del talud, formando el acantilado. Sobre estos materiales se sitúan discordantemente los sedimentos coluviales de gran potencia ( $>8\text{ m}$ ), constituidos por cantos y bloques de calizas liásicas e infraliásicas de diversos tamaños, envueltos en una matriz fina arcillosa. Hay una cierta granuloclasificación y estructuras sedimentarias. Aparecen secuencias +. Los bloques tienen un cierto grado de redondez, lo cual indica que han sido re TRABAJADOS. Los bloques pueden ser de varios  $\text{m}^3$  de volumen.

**Estructura:** no se observa

**Orientación del talud:** abierto hacia el NW

**Altura del talud:** 20m

**Pendiente del talud:**  $50^\circ$  (base, calizas zoogenas) y  $40^\circ$  en cabecera (aluviales Q).

**Superficie afectada:** toda la franja del talud costero

**Volumen:**

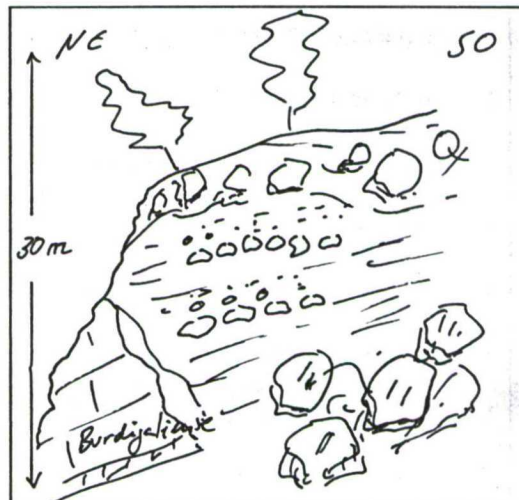
**Profundidad del plano:**

**Presencia de agua:** no aparente

**Vegetación:** no, en la parte superior del talud aparecen pinos volcados.

**Estado de alteración:** alterado

**Desencadenante:** lluvias, lavado de la matriz fina que soporta los bloques Q. En épocas de tempestades, el mar incide directamente sobre el talud.



**Daños materiales y afecciones:** camino

**Notas de interés:** Zona muy concurrida en los meses estivales. Zona de acampada

FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> Movimientos de ladera <b>Fecha de registro:</b> 19/02/98	<b>REGISTRO N° 10</b> Fotografías: 26,27,28
<b>Paraje:</b> Es Vinyet ( Camino de Deià a Lluc-Alcari, pasado las casas) <b>Municipio:</b> Deià <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670- II <b>Coordenadas X:</b> 470,1 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 401,75 <b>Activo:</b> si	
<p><b>Tipo de movimiento:</b> avalancha de rocas</p> <p><b>Litología:</b> En la base aparecen las calizas blancas zoógenas del Burdigaliense, que presentan morfologías de lapiaz en la franja costera .De forma discordante, se superponen grandes bloques heterométricos y poligénicos ( algunos bloques &gt; 25m<sup>3</sup> de volumen), envueltos en una matriz areno arcillosa, sin cementar, que representan sedimentos coluviales cuaternarios. En superficie, la matriz de estos sedimentos recientes está lavada, apareciendo los grandes bloques sueltos tapizando la ladera.</p> <p><b>Estructura:</b> no, las calizas zoógenas de la base presentan planos tendidos (15°) buzantes hacia el talud.</p> <p><b>Orientación del talud:</b> Abierto hacia el NNW</p> <p><b>Altura del talud:</b> 30 m</p> <p><b>Pendiente del talud:</b> 28°</p> <p><b>Superficie afectada:</b> 120m de anchura. 5,000 m<sup>2</sup></p> <p><b>Volumen:</b> &gt;40,000 m<sup>3</sup></p> <p><b>Profundidad del plano:</b> &gt;6 m</p> <p><b>Presencia de agua:</b> no aparente</p> <p><b>Vegetación:</b> no, sólo en cabecera</p> <p><b>Estado de alteración:</b> alterado</p> <p><b>Desencadenante:</b> lluvias</p>	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> camino	
<b>Notas de interés:</b> zona basal de un cono aluvial, donde la matriz fina se ha lavado, quizás por la acción del oleaje.	



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

**PROCESOS:** movimientos de ladera en el litoral

**Fecha de registro:** 19/02/98

**REGISTRO N°: 11**

**Fotografías:** 29 -55

**Paraje:** Cala Deià

**Municipio:** Deià

**n° hoja 1:50,000:** 670

**n° hoja 1:25,000:** 670-I- Sa Foradada

**Coordenadas X:** 469,45

**U.T.M. Coordenadas Y:** 401,45

**Activosi**

**Tipo de movimiento:** desprendimientos rocosos

**Litología:** Dolomías del Muschelkak aflorando en el sector W de la Cala, facies Keuper plegadas ( margas rojas y estratos de calizas y dolomías con rocas volcánicas) en el centro de la Cala, y brechas del Burdigaliense en el cabo E. Según Gelabert (1997), las dolomías y estratos plegados de facies blandas corresponden al Rethiense, y no los diferencia en su cartografía. Discordantemente se disponen depósitos aluviales, con más de 6m de potencia, con bloques de calizas y brechas calcáreas redondeados, y una cierta granuloclasificación.

**Estructura:** únicamente las dolomías de la base presentan estratificación N230E/ 55°NE. Las facies blandas del Keuper aparecen plegadas.

**Orientación del talud:** abierto hacia el NW

**Altura del talud:** 18m (hasta el primer aterrazamiento)

**Pendiente del talud:** 62°

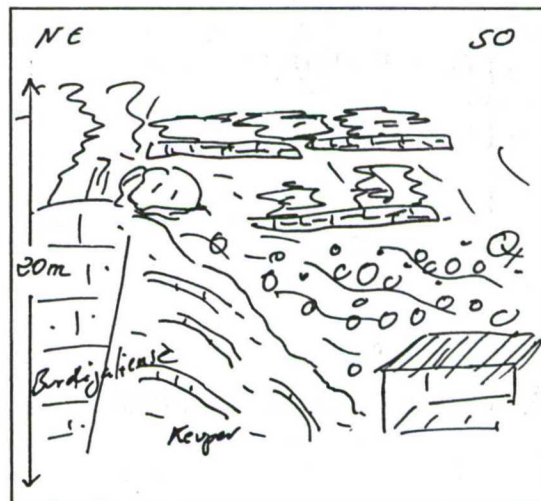
**Superficie afectada:** todo el frente de la cala

**Presencia de agua:** no aparente. La salida natural del torrente Major se produce en el extremo W de la cala

**Vegetación:** no, sólo a partir de los aterrazamientos superiores.

**Estado de alteración:** muy alterado

**Desencadenante:** erosión marina y lluvias.



**Daños materiales y afecciones:** Cala de Deià y Bar Restaurante Can Lluch.

**Notas de interés:**

Observese las diferencias entre la cartografía del ITGE y la de GELABERT (1997). Es evidente en ambos casos la existencia de un contacto mecánico con los materiales del Burdigaliense que afloran al E de la Cala, y por donde tiende a canalizarse el agua de escorrentía superficial del talud.

FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> movimientos de Ladera <b>Fecha de registro:</b> 5/3/98	<b>REGISTRO N° 12</b>
<b>Paraje:</b> Deià Pueblo <b>Municipio:</b> Deià <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670-I <b>Coordenadas X:</b> 469,55 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 400,85 <b>Activo:</b> inestable - alto riesgo	
<p><b>Tipo de movimiento:</b> desprendimiento rocoso</p> <p><b>Litología:</b> Bloque de calizas del Lías, muy masivo. Ya desprendido anteriormente</p> <p><b>Estructura:</b></p> <p><b>Orientación del talud:</b> SW (hacia el valle del torrente)</p> <p><b>Dimensiones del bloque:</b> &gt; 60 m<sup>3</sup></p> <p><b>Pendiente de la base de apoyo del bloque:</b> 10°</p> <p><b>Apertura de la grieta vertical :</b> hasta 1,5 m</p> <p><b>Profundidad del plano:</b> 4,5 m</p> <p><b>Presencia de agua:</b> no</p> <p><b>Vegetación:</b> hay almendros, olivos y algarrobos en la finca, algunos centenarios.</p> <p><b>Estado de alteración:</b> alterado</p> <p><b>Desencadenante:</b> lluvias</p> <div data-bbox="817 887 1415 1431" data-label="Image"> </div>	
<p><b>Daños materiales y afecciones:</b> Riesgo elevado a una casa situada a escasos 50 m, en la dirección del talud y situado justo bajo el bloque de roca.</p>	
<p><b>Notas de interés:</b> Gran preocupación de los habitantes de la casa. Se indica que hubo desprendimientos rocosos en el pueblo hace 15 años en un punto donde antiguamente conducían las aguas sucias del pueblo.</p>	



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

**PROCESOS:** movimientos de ladera en el litoral

**REGISTRO Nº 13**

**Fecha de registro:** 26/3/98

**Paraje:** Lluc-Alcari, zona Norte de la cala

**Municipio:** Deià

**nº hoja 1:50,000:** 670

**nº hoja 1:25,000:** 670 II

**Coordenadas X:** 470,85

**U.T.M. Coordenadas Y:** 402,48

**Activo (1=SI, 2=NO, 3= No se sabe):** si

**Tipo de movimiento:** deslizamientos rotacionales

**Litología:** en el talud afloran las margas violáceas con yesos del Keuper, en la base del acantilado afloran las dolomías tableadas del Muschelkalk. Hay también numerosos bloques caídos de niveles superiores, de varios m<sup>3</sup> de volumen.

**Estructura:** Las dolomías tableadas del Muschelkalk afloran con estratificación vertical, buzando hacia el Sur.

**Orientación del talud:** N-S, abierto hacia el W.

**Altura del talud:** 15- 20 m

**Pendiente del talud:** 42- 50°

**Superficie afectada:** todo el frente del talud.

**Volumen:**

**Profundidad del plano:**

**Presencia de agua:** pequeñas surgencias de agua que saturan los materiales blandos del Keuper.

**Vegetación:** en la parte superior del talud aparecen pinos inclinados y doblados, indicando presencia de creeping.

**Estado de alteración:** muy alterado.

**Desencadenante:** erosión litoral en el pie del acantilado

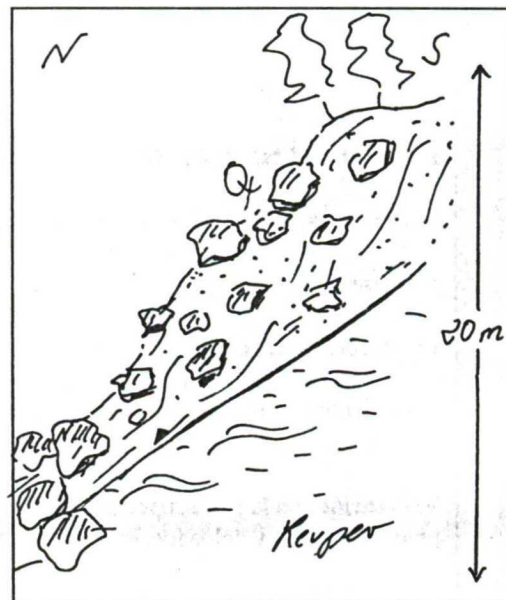


**Daños materiales y afecciones:** numerosos bañistas durante la época estival. Gran atractivo de la cala por los baños de arcilla.

**Notas de interés:** La ladera de bajada a la Cala, está abancalada con muros de "marges", apareciendo numerosos bloques caídos de niveles superiores, de varios m<sup>3</sup> de volumen.

FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> movimientos de ladera en el litoral <b>Fecha de registro:</b> 26/3/98	<b>REGISTRO N°14</b>
<b>Paraje:</b> Lluc- Alcari, zona Sur de la cala. <b>Municipio:</b> Deià <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670 II <b>Coordenadas X:</b> 470,95 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 402,5 <b>Activo:</b> si	
<b>Tipo de movimiento:</b> grandes desprendimientos rocosos y deslizamiento planar.	
<b>Litología:</b> Depósitos coluviales cuaternarios, con grandes bloques de roca (varios m <sup>3</sup> de volumen) poligénicos y heterométricos (calizas del Lías Rethiense, brechas dolomíticas...). Estos depósitos coluviales se sitúan discordantemente sobre materiales plegados de Keuper, constituidos por margas violáceas con yesos.	
<b>Estructura:</b> aluviales caótica. Keuper plegado.	
<b>Orientación del talud:</b> E-W, abierto hacia el N.	
<b>Altura del talud:</b> 20-25 m	
<b>Pendiente del talud:</b> 50°	
<b>Superficie afectada:</b> todo el frente de la cala.	
<b>Profundidad del plano:</b> 2.5 m (plano de contacto con el Keuper).	
<b>Presencia de agua:</b> si, muy importante, además de pequeñas surgencias en pequeños niveles más permeables del Keuper, aparece una fuente en la Cala. Se trata de todo el agua drenada por los materiales cuaternarios que sale en el contacto con los materiales impermeables del Keuper. <b>Caudal fuente aprox.</b> 0,25 L / s.	
<b>Vegetación :</b> en cabecera pinos muy inclinados y torcidos	
<b>Estado de alteración:</b> muy alterado	
<b>Desencadenante:</b> está claro que hay un deslizamiento en el plano de contacto entre los aluviales y el keuper, pero además se producen desprendimientos rocosos de los bloques aluviales por el lavado de la matriz. El desencadenante es la erosión litoral.	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> presencia humana en la Cala durante el verano. Zona de alto riesgo, ya que la gente aprovecha el agua de la fuente para darse los baños de arcilla.	
<b>Notas de interés:</b> Durante el verano puede haber una afluencia de 60- 70 personas / día.	





FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

**PROCESOS:** movimientos de ladera en el litoral  
**Fecha de registro:** 26/3/98

**REGISTRO N° 15**

**Paraje:** Lluc-Alcari, al N de la Cala, junto al embarcadero  
**Municipio:** Deià  
**n° hoja 1:50,000:** 670  
**n° hoja 1:25,000:** 670II  
**Coordenadas X:** 471,00  
**U.T.M. Coordenadas Y:** 402, 56  
**Activo :** si

**Tipo de movimiento:** deslizamiento rotacional

**Litología:** sedimentos coluviales del cuaternario, grandes bloques heterométricos y poligénicos, algunos de gran volumen, envueltos en una matriz fina.

**Estructura:** caótica

**Orientación del talud:** NE-SW, abierto hacia el NW.

**Altura del talud:** 50m.

**Pendiente del talud:** 32°

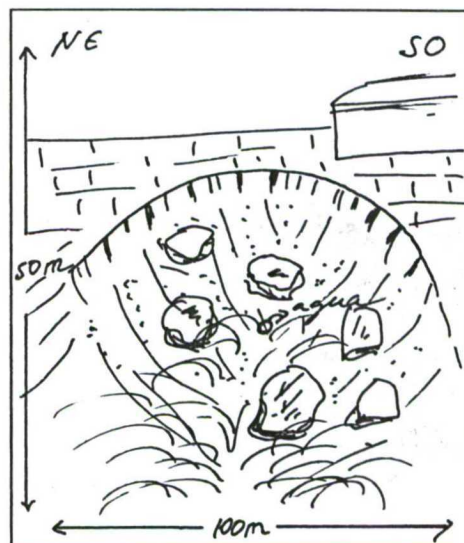
**Superficie afectada:** 1000 m<sup>2</sup>

**Presencia de agua:** si, hay una surgencia de agua en la zona central de cabecera del deslizamiento. Este agua corresponde al drenaje de los materiales de la ladera, en contacto con los materiales impermeables del Keuper situados al pie del talud.

**Vegetación:** pinos muy inclinados y tumbados, y gran presencia de juncáceas en la zona donde surge el agua.

**Estado de alteración:** muy alterado

**Desencadenante:** agua de lluvia y erosión litoral.



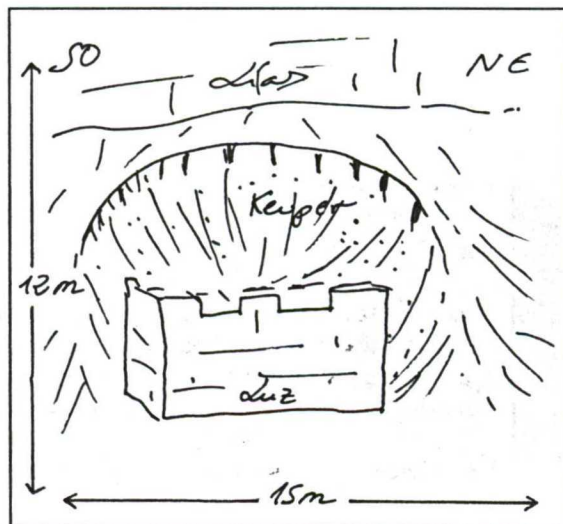
**Daños materiales y afecciones:** embarcadero.

**Notas de interés:**

En la franja Sur del deslizamiento se ha construido una casa, con grandes muros de piedra hacia el talud.

FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> movimientos de taludes <b>Fecha de registro:</b> 27/3/98	<b>REGISTRO N°16</b> <b>Fotos:</b> 82,83
<b>Paraje:</b> Costa de Deià, Ses Llegendes <b>Municipio:</b> Sóller <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670 II <b>Coordenadas X:</b> 471, 65 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 403,25 <b>Activo :</b> si	
<b>Tipo de movimiento:</b> deslizamiento rotacional  <b>Litología:</b> margas rojizas con yesos del Keuper..Contacto de cabalgamiento, en la parte superior del talud se disponen las calizas liásicas.  <b>Estructura:</b> no aparente  <b>Orientación del talud:</b> NE-SW, abierto hacia el SE  <b>Altura del talud:</b> 12 m  <b>Pendiente del talud:</b> 65°  <b>Superficie afectada:</b> 750 m <sup>2</sup> del talud de carretera  <b>Volumen:</b> 1500 m <sup>3</sup>  <b>Profundidad del plano:</b> 2 m  <b>Presencia de agua:</b> no  <b>Vegetación:</b> no, alguna retama  <b>Estado de alteración:</b> alterado  <b>Desencadenante:</b> erosión en el pie del talud por apertura de carretera y excavación para construir una caseta de la luz.	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> a la carretera y caseta de luz.	
<b>Notas de interés:</b>	





FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

**PROCESOS:** movimientos de ladera

**Fecha de registro:** 27/3/98

**REGISTRO N°17**

Fotos: 85,86,87

**Paraje:** Costa Deià, Ses Llegitimes

**Municipio:** Sóller

**n° hoja 1:50,000:** 670

**n° hoja 1:25,000:** 670 II

**Coordenadas X:** 471,52

**U.T.M. Coordenadas Y:** 403,29

**Activo:** si

**Tipo de movimiento:** desprendimientos rocosos, avalancha de rocas.

**Litología:** calizas del Lías, desprendimientos de grandes bloques, de hasta 60 m<sup>3</sup> de volumen

**Estructura:** no aparente, muy diaclasado

**Orientación del talud:** NNW-SSE,  
abierto hacia el SWW.

**Altura del talud:** 45 m, desde la carretera.

**Pendiente del talud:** 90 ° en el farallón desde  
donde se producen los desprendimientos, en el  
talud donde se acumulan los bloques 36°.

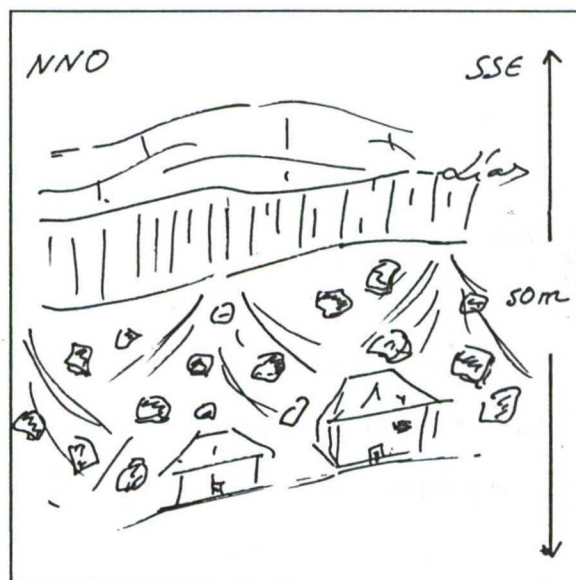
**Superficie afectada:** 30,000 m<sup>2</sup>

**Presencia de agua:** no aparente

**Vegetación:** si, pinos tumbados muy jóvenes.

**Estado de alteración:** alterado

**Desencadenante:** lluvias torrenciales.



**Daños materiales y afecciones:** Hay casas situadas en la zona de acumulación de bloques.

**Notas de interés:** hay una casa dentro del área de acumulación, que ha construido un muro pantalla de 4 m de altura con drenes, con la finalidad de para parar los bloques. MUY ALTO RIESGO.

FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

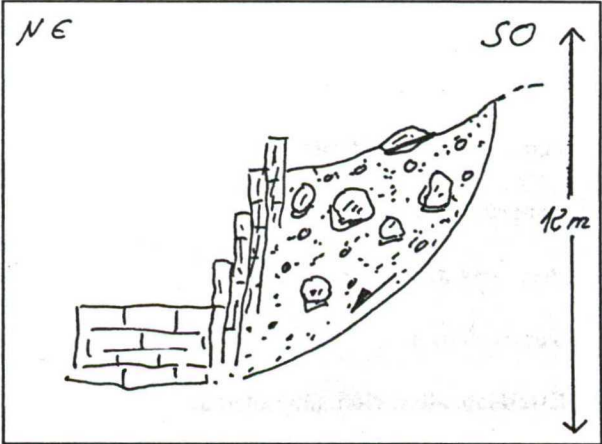
<b>PROCESOS:</b> movimientos de ladera en el litoral <b>Fecha de registro:</b> 27/3/98	<b>REGISTRO N°18</b> Fotos: 88,89
<b>Paraje:</b> Costa de Deià, Ses Llegendes <b>Municipio:</b> Sóller <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670 II <b>Coordenadas X:</b> 471,46 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 403,33 <b>Fecha movimiento:</b> 1993 <b>Activo :</b> si	
<b>Tipo de movimiento:</b> deslizamiento rotacional  <b>Litología:</b> sedimentos coluviales del Cuaternario, grandes bloques de calizas liásicas, envueltos en una matriz fina, bloques de varios m <sup>3</sup> de volumen.  <b>Estructura:</b> caótica  <b>Orientación del talud:</b> N-S, abierto hacia el W.  <b>Altura del talud:</b> 50m  <b>Pendiente del talud:</b> 50°  <b>Superficie afectada:</b> franja de 200 m de costa.  <b>Profundidad del plano:</b> 3m  <b>Presencia de agua:</b> no aparente  <b>Vegetación:</b> no  <b>Estado de alteración:</b> muy alterado  <b>Desencadenante:</b> erosión litoral del pie del talud.	
<b>Daños materiales y afecciones.</b> Viviendas particulares	
<b>Notas de interés:</b> hay varias casas situadas justo encima del acantilado , con los jardines "colgados". Hay una escalera de acceso al mar completamente rota y colgada	



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> movimientos de talud de carretera <b>Fecha de registro:</b> 2/4/98	<b>REGISTRO N° 19</b> Fotos: 90a y 90b
<b>Paraje:</b> Carretera Sóller- Palma. C 711. Km. 29,5 <b>Municipio:</b> Sóller <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670-II <b>Coordenadas X:</b> 475,20 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 401,00 <b>Activo:</b> si	
<p><b>Tipo de movimiento:</b> Desprendimientos rocosos</p> <p><b>Litología:</b> Sedimentos aluviales del Cuaternario. Grandes bloques de calizas angulosos, envueltos en una matriz fina, arcillosa y cementada. Al abrir el talud, la matriz fina se lava y los grandes bloques quedan sueltos.</p> <p><b>Estructura:</b> caótica</p> <p><b>Orientación del talud:</b> NE-SW, abierto SE</p> <p><b>Altura del talud:</b> 15 m</p> <p><b>Pendiente del talud:</b> 90°</p> <p><b>Superficie afectada:</b> 900m<sup>2</sup></p> <p><b>Presencia de agua:</b> no aparente</p> <p><b>Vegetación:</b> no</p> <p><b>Estado de alteración:</b> muy alterado</p> <p><b>Desencadenante:</b> apertura carretera. Erosión pie del talud.</p>	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> carretera. Riesgo de desprendimientos.	
<b>Notas de interés:</b> Ver foto del bloque	

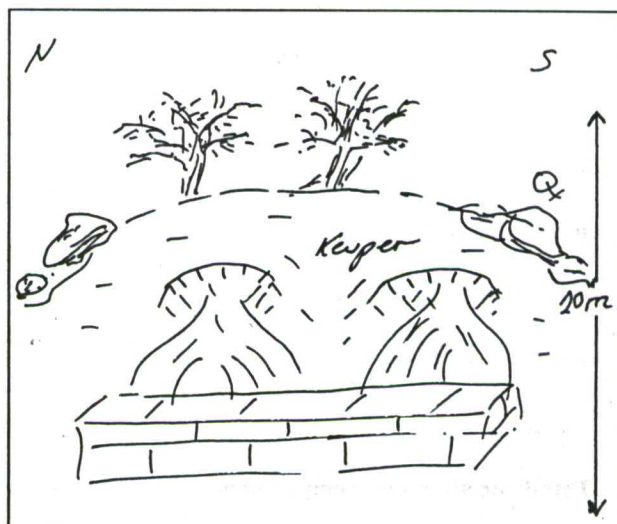
FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> Movimientos de talud en carretera	<b>REGISTRO N° 20</b>
<b>Fecha de registro:</b> 2/4/98	<b>Fotos:</b> 91,92,93
<b>Paraje:</b> Carretera Sóller- Palma, C-711. PK. 29,250 <b>Municipio:</b> Sóller <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670-II <b>Coordenadas X:</b> 475,16 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 400,9 <b>Activo si</b>	
<b>Tipo de movimiento:</b> deslizamiento rotacional-- desprendimientos.  <b>Litología:</b> Aluviales del Q. Grandes bloques calcáreos angulosos, envueltos en una matriz fina, cementada. Grandes bloques colgados con predisposición a la caída.  <b>Estructura:</b> caótica  <b>Orientación del talud:</b> SE-NW, abierto hacia el NE.  <b>Altura del talud:</b> 12 m  <b>Pendiente del talud:</b> 85°  <b>Superficie afectada:</b> 1200 m <sup>2</sup>  <b>Presencia de agua:</b> no aparente  <b>Vegetación:</b> no  <b>Estado de alteración:</b> muy alterado  <b>Desencadenante:</b> apertura talud carretera, erosión pié del talud.	
	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> carretera	
<b>Notas de interés:</b> construcción de muros pantalla. Placas de hormigón con drenajes y muro de piedras Cicatriz de mov rotacional, que deja grandes bloques al descubierto.	



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> movimientos en taludes de carretera <b>Fecha de registro:</b> 2/4/98	<b>REGISTRO N°21</b> Fotos: 94, 95
<b>Paraje:</b> Carretera C-710, PK. 53 <b>Municipio:</b> Sóller <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670 II <b>Coordenadas X:</b> 474, 45 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 402,85 <b>Activo :</b> si	
<p><b>Tipo de movimiento:</b> pequeños deslizamientos rotacionales</p> <p><b>Litología:</b> arcillas del Keuper. Tonos rojos- ocre. En ambos extremos del talud aparecen, de forma discordante, sedimentos coluviales.</p> <p><b>Estructura:</b> no</p> <p><b>Orientación del talud:</b> N-S, abierto hacia el E</p> <p><b>Altura del talud:</b> 10m</p> <p><b>Pendiente del talud:</b> 85°</p> <p><b>Superficie afectada:</b> 1000 m<sup>2</sup> a lo largo del talud de carretera.</p> <p><b>Volumen:</b></p> <p><b>Profundidad del plano:</b> 50 cm</p> <p><b>Presencia de agua:</b> no aparente</p> <p><b>Vegetación:</b> cabecera, acebuches de pequeño tamaño.</p> <p><b>Estado de alteración:</b>alterado</p> <p><b>Desencadenante:</b> lluvias y excavación del pie del talud por apertura de carretera.</p>	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> carretera	
<b>Notas de interés:</b> construcción de muro de piedra de 1 m de altura a lo largo del tramo inestable.	



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> movimientos de taludes de carretera <b>Fecha de registro:</b> 2/4/1998	<b>REGISTRO N° 22</b> Fotos: 96,97,98
<b>Paraje:</b> Carretera C-710. PK. 53,5 <b>Municipio:</b> Sóller <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670_II <b>Coordenadas X:</b> 474,25 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 402,95 <b>Fecha movimiento:</b> apertura carretera 1995 <b>Activo):</b> si	
<p><b>Tipo de movimiento:</b> deslizamiento rotacional—desprendimientos</p> <p><b>Litología:</b> Cuaternarios aluviales. Bloques de varios m<sup>3</sup> de volumen envueltos en una matriz fina cementada.</p> <p><b>Estructura:</b> caótica</p> <p><b>Orientación del talud:</b> E-W, abierto hacia el N</p> <p><b>Altura del talud:</b> 10 m</p> <p><b>Pendiente del talud:</b> 85 °</p> <p><b>Superficie afectada:</b> 600m<sup>2</sup></p> <p><b>Presencia de agua:</b> :no</p> <p><b>Vegetación:</b>no: en cabecera si</p> <p><b>Estado de alteración:</b> muy alterado</p> <p><b>Desencadenante:</b> Lluvias y erosión del pie del talud por apertura de carretera.</p>	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> carretera	
<b>Notas de interés:</b> construcción de muro de piedra de 1m de altura, para paralizar la caída de bloques.	

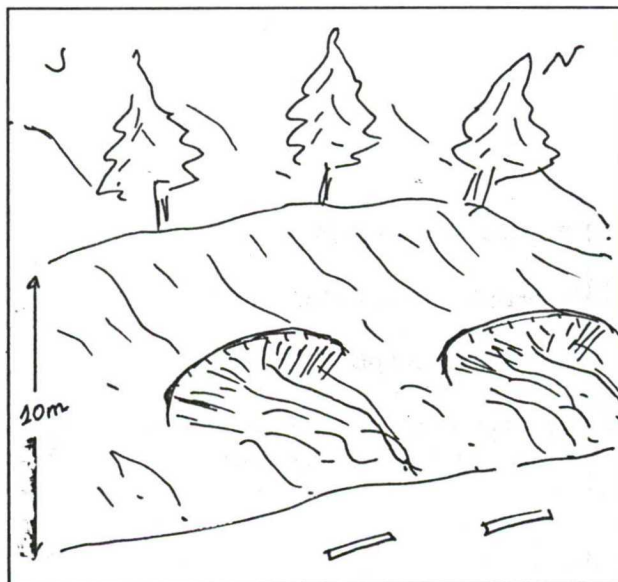


FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> movimientos de taludes <b>Fecha de registro:</b> 2/4/1998	<b>REGISTRO N° 23</b> Fotos: 99,100
<b>Paraje:</b> Carretera C-710. PK. 54.1, junto al puente por donde sale el camino que sube hasta el Pla d'en Bieleta <b>Municipio:</b> Sóller <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670-II <b>Coordenadas X:</b> 473,7 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 402,9 <b>Fecha movimiento:</b> al menos hace 15 años, por la vegetación <b>Activo (1=SI, 2=NO, 3= No se sabe):</b> 3	
<p><b>Tipo de movimiento:</b> deslizamiento rotacional</p> <p><b>Litología:</b> arcillas de colores ocre amarillentos del Keuper. Presencia de yesos</p> <p><b>Estructura:</b> no</p> <p><b>Orientación del talud:</b> N-S, abierto hacia el E</p> <p><b>Altura del talud:</b> 25 m.</p> <p><b>Pendiente del talud:</b> 25-30°</p> <p><b>Superficie afectada:</b> 1250 m.</p> <p><b>Profundidad del plano:</b> 5,5 m</p> <p><b>Presencia de agua:</b> en grieta de cabecera, mayor acumulación de vegetación.</p> <p><b>Vegetación:</b> si, en la zona deslizada aparecen pinos jóvenes.</p> <p><b>Estado de alteración:</b> alterado</p> <p><b>Desencadenante:</b> lluvias y excavación del pié de la ladera por la acción del torrente.</p>	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> Hay una pequeña casa debajo. Hay un evidente problema del taponamiento del torrente.	
<b>Notas de interés:</b> Se trata de una antigua cantera de yesos	

FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> movimientos en taludes de carretera <b>Fecha de registro:</b> 2/4/98	<b>REGISTRO N° 24</b> Fotos:101-106
<b>Paraje:</b> Carretera C-710, PK. 54,2- 55 <b>Municipio:</b> Sóller <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670_II <b>Coordenadas X:</b> 473, 57 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 403 <b>Fecha movimiento:</b> apertura carretera 1995 <b>Activo:</b> si	
<p><b>Tipo de movimiento:</b> pequeños deslizamientos rotacionales con flujos asociados.</p> <p><b>Litología:</b> arcillas del Keuper, con materiales aluviales cuaternarios situados discordantemente (potencia 0,5 m).</p> <p><b>Estructura:</b> no</p> <p><b>Orientación del talud:</b> N-S, abierto E; E-W, abierto N.</p> <p><b>Altura del talud:</b> máx 10 m.</p> <p><b>Pendiente del talud:</b> 75°</p> <p><b>Superficie afectada:</b> todo el frente del talud de carretera. Aprox. 8,000 m<sup>2</sup></p> <p><b>Volumen:</b> 6,000 m<sup>3</sup></p> <p><b>Profundidad del plano:</b> 0,5 - 1m</p> <p><b>Presencia de agua:</b> no aparente</p> <p><b>Vegetación:</b> no, sólo en cabecera</p> <p><b>Estado de alteración:</b> alterado</p> <p><b>Desencadenante:</b> lluvias y erosión del pié del talud por apertura de carretera.</p>	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> carretera	
<b>Notas de interés:</b> no hay muros de contención	



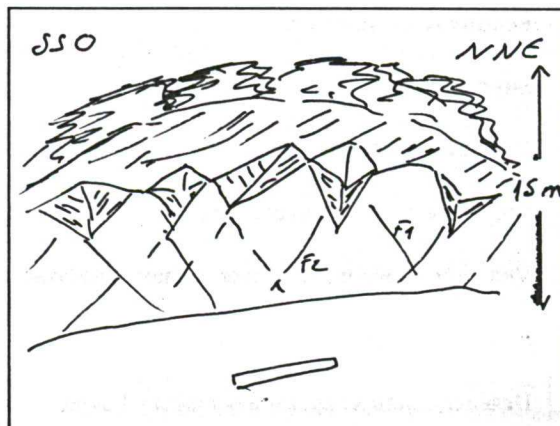


FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> talud carretera <b>Fecha de registro:</b> 5/6/98	<b>REGISTRO N°</b> 26 Fotos: 110,111,112
<b>Paraje:</b> cruce carretera PM-110 con PM-V-1101 <b>Municipio:</b> Esporles <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670 III <b>Coordenadas X:</b> 462,4 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4391,35 <b>Activo :</b> si	
<b>Tipo de movimiento:</b> deslizamiento rotacional	
<b>Litología:</b> margas rojas y ocre del Keuper. Hay algunos bloques del cuaternario superpuestos. Aparecen niveles con rocas volcánicas.	
<b>Estructura:</b> En la cartografía de GELABERT (1995) pone justo en este punto el cruce de tres fallas normales. En el afloramiento, los materiales del Keuper aparecen plegados.	
<b>Orientación del talud:</b> NW-SE, abierto hacia el E.	
<b>Altura del talud:</b> 5 m.	
<b>Pendiente del talud:</b> 85°	
<b>Superficie afectada:</b> 250 m <sup>2</sup>	
<b>Profundidad del plano:</b> 1 m.	
<b>Presencia de agua:</b> no aparente	
<b>Vegetación:</b> alguna retama en la masa desplazada	
<b>Estado de alteración:</b> alterado	
<b>Desencadenante:</b> apertura del talud y lluvias	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> carretera, base superior del muro colmatada. La anchura del muro es > 1 m.	
<b>Notas de interés:</b> Ver cartografía de GELABERT (1995). Punto de complejidad tectónica	

FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> movimientos de taludes en carretera	<b>REGISTRO N° 25</b>
<b>Fecha de registro:</b> 5/6/98	Fotos: 107, 108, 109
<b>Paraje:</b> Carretera PM 110, Km 0,800 <b>Municipio:</b> Esporles <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670 III <b>Coordenadas X:</b> 462,35 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4391,85 <b>Activo:</b> si	
<b>Tipo de movimiento:</b> deslizamiento en cuña <b>Litología:</b> calizas del Lías, muy tectonizadas <b>Estructura:</b> F1- N140 / 40° NE F2- N90° / 80° S F2' N 60 ° / 30° S Las diaclasas presentan planos rugosos, con recristalizaciones de calcita y rellenos de arcillas. <b>Orientación del talud:</b> NNE-SSW, abierto hacia el E. <b>Altura del talud:</b> 15 m (punto más alto) <b>Pendiente del talud:</b> 90° <b>Superficie afectada:</b> 1900m <sup>2</sup> . <b>Volumen:</b> 1,5 m <sup>3</sup> <b>Presencia de agua:</b> no aparente <b>Vegetación:</b> no <b>Estado de alteración:</b> muy alterado y tectonizado <b>Desencadenante:</b> apertura del talud	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> carretera PM-110	
<b>Notas de interés:</b> Hay huellas de numerosas cuñas desprendidas	





FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

**PROCESOS:** talud carretera

**Fecha de registro:** 5/6/98

**REGISTRO N°** 27

**Fotos:** 113,114

**Paraje:** cruce C- 710, Km. 79,9, justo antes de la entrada de la carretera que baja al Port des Canonge

**Municipio:** Banyalbufar

**n° hoja 1:50,000:** 670

**n° hoja 1:25,000:** 670 III

**Coordenadas X:** 461,9

**U.T.M. Coordenadas Y:** 4392,63

**Activo:** si

**Tipo de movimiento:** desplome por karstificación de la base del talud

**Litología:** dolomías Rethiense muy tectonizadas, apertura de pequeñas cavidades a partir de las discontinuidades.

**Estructura:** muy tectonizado

**Orientación del talud:** E-W, abierto hacia el N

**Altura del talud:** 5m.

**Pendiente del talud:** 90°

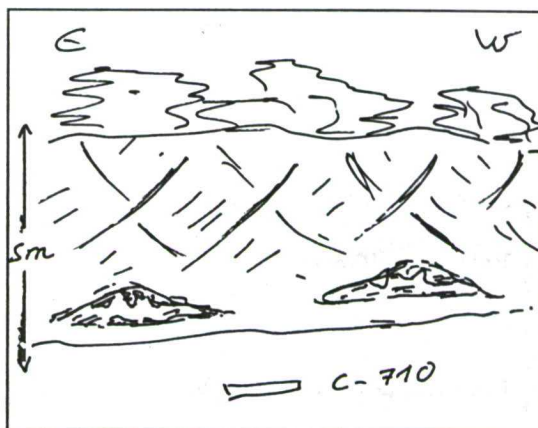
**Superficie afectada:** 500 m<sup>2</sup>

**Presencia de agua:** no aparente

**Vegetación:** no

**Estado de alteración:** muy alterado

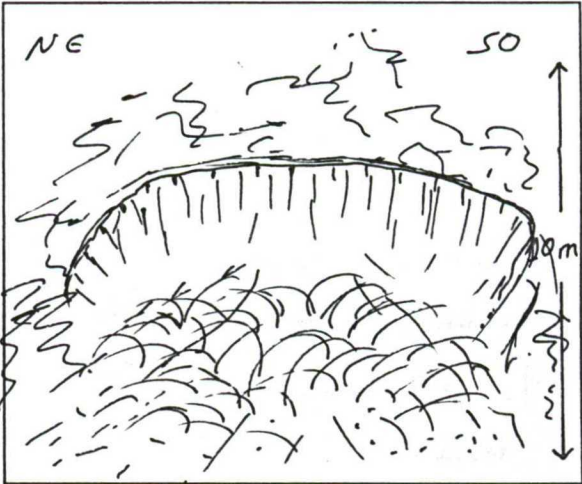
**Desencadenante:** karstificación



**Daños materiales y afecciones:** riesgo de desplome del talud

**Notas de interés:** la karstificación está en la base del talud, favorecida por la apertura de la carretera

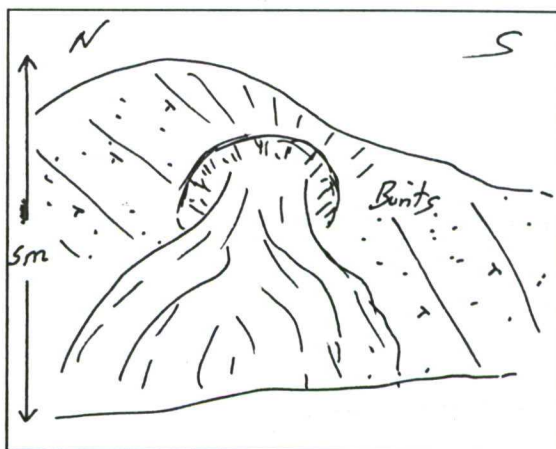
FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> movimientos de ladera <b>Fecha de registro:</b> 5/6/98	<b>REGISTRO N° 28</b> Fotos:115,116,117,118
<b>Paraje:</b> carretera de bajada al Port des Canonge, antes de llegar a Son Coll <b>Municipio:</b> Banyalbufar <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670 III <b>Coordenadas X:</b> 462,02 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4393,95 <b>Activo:</b> si	
<b>Tipo de movimiento:</b> deslizamiento rotacional  <b>Litología:</b> lutitas rojas del Buntsandstein  <b>Estructura:</b> no  <b>Orientación del talud:</b> NE-SW, abierto al NW  <b>Altura del talud:</b> 10 m.  <b>Pendiente del talud:</b> 45°  <b>Superficie afectada:</b> 200 m <sup>2</sup>  <b>Volumen:</b> >1000 m <sup>3</sup>  <b>Profundidad del plano:</b> 4 m  <b>Presencia de agua:</b> si, en la base  <b>Vegetación:</b> si, en la base y masa deslizada. Zarzas y vegetación reciente.  <b>Estado de alteración:</b> alterado  <b>Desencadenante:</b> lluvias y apertura de la carretera	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> hay un cruce de caminos; a la carretera de bajada al Port des Canonge	
<b>Notas de interés:</b> Toma de muestra de las lutitas para análisis mineralógico por difracción de R.X.	



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> movimientos de talud en carretera	<b>REGISTRO N° 29</b>
<b>Fecha de registro:</b> 9/6/98	<b>Fotos:</b>
<b>Paraje:</b> carretera de bajada al Port des Canonge <b>Municipio:</b> Banyalbufar <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670 III <b>Coordenadas X:</b> 462,10 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4394,05 <b>Activo:</b> si	
<b>Tipo de movimiento:</b> pequeño deslizamiento rotacional <b>Litología:</b> areniscas rojas del Buntsandstein <b>Estructura:</b> estratificación: N60° / 80° NNW <b>Orientación del talud:</b> N-S, abierto hacia el W <b>Altura del talud:</b> 5 m. <b>Pendiente del talud:</b> 55° <b>Superficie afectada:</b> 100 m <sup>2</sup> <b>Volumen:</b> 200 m <sup>3</sup> <b>Profundidad del plano:</b> 1,5 m <b>Presencia de agua:</b> no <b>Vegetación:</b> reciente en el material movilizado. Retama <b>Estado de alteración:</b> alterado <b>Desencadenante:</b> apertura de carretera	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> carretera de bajada Port des Canonge	
<b>Notas de interés:</b> Estratificación ligeramente plegada	

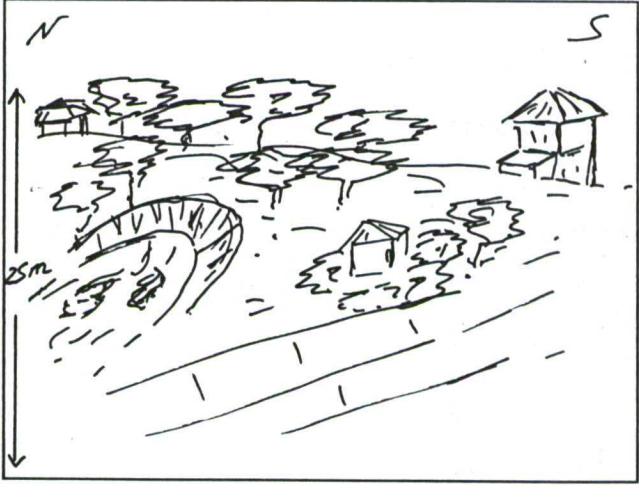


FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> movimientos en talud de carretera <b>Fecha de registro:</b> 9/6/98	<b>REGISTRO N° 30</b>
<b>Paraje:</b> Carretera de bajada al Port des Canonge <b>Municipio:</b> Banyalbufar <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670 III <b>Coordenadas X:</b> 462,00 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4394,00 <b>Fecha movimiento:</b> ¿apertura carretera? <b>Activo:</b> si	
<p><b>Tipo de movimiento:</b> deslizamiento rotacional, con colapso de estratos</p> <p><b>Litología:</b> Areniscas pardo amarillentas cementadas, laminadas y estratificadas, con algunos niveles margosos.</p> <p><b>Estructura:</b> E-W / 60° S. Las bases y los techos de los estratos son muy planos, con un espesor de estratos entre 10- 25 cm</p> <p><b>Orientación del talud:</b> N30° E, abierto hacia el NW</p> <p><b>Altura del talud:</b> 7 m</p> <p><b>Pendiente del talud:</b> 65°</p> <p><b>Superficie afectada:</b> 105 m<sup>2</sup></p> <p><b>Volumen:</b> &gt; 160 m<sup>3</sup></p> <p><b>Profundidad del plano:</b> 1,5 m</p> <p><b>Presencia de agua:</b> no</p> <p><b>Vegetación:</b> no</p> <p><b>Estado de alteración:</b> muy alterado</p> <p><b>Desencadenante:</b> apertura carretera, erosión del pie del talud</p>	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> carretera	
<b>Notas de interés:</b> Se toma muestra de las areniscas para análisis mineralógico por Difracción de R.X.	



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> movimientos en acantilados. litoral	<b>REGISTRO N° 31</b>
<b>Fecha de registro:</b> 9/6/98	<b>Fotos:</b> 119
<b>Paraje:</b> Port des Canonge, Playa, extremo E de la Cala <b>Municipio:</b> Banmyalbufar <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670 III <b>Coordenadas X:</b> 462,00 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4394,75 <b>Fecha movimiento:</b> <b>Activo (1=SI, 2=NO, 3= No se sabe):</b> si	
<b>Tipo de movimiento:</b> deslizamiento rotacional- traslacional  <b>Litología:</b> lutitas y areniscas rojas del Buntsandstein  <b>Estructura:</b> estratificación N 130° / 28° N  <b>Orientación del talud:</b> N 120E, abierto hacia el W  <b>Altura del talud:</b> 25 m  <b>Pendiente del talud:</b> 44 °  <b>Superficie afectada:</b> 1000 m <sup>2</sup>  <b>Volumen:</b> 10,000 m <sup>3</sup>  <b>Profundidad del plano:</b> 10 m  <b>Presencia de agua:</b> no aparente  <b>Vegetación:</b> si, en la masa movilizada, pinos jóvenes y matorrales  <b>Estado de alteración:</b> alterado  <b>Desencadenante:</b> erosión marina en el pie del talud	
	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> presenta un riesgo muy bajo, puesto que en este extremo de la cala, el acceso es muy difícil y no hay presencia de bañistas.	
<b>Notas de interés:</b>	

FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

**TIPO DE RIESGO:** litoral

**REGISTRO N° 32**

**Fecha de registro:** 9/6/98

**Paraje:** Platja de S'Hort de Sa Cova

**Municipio:** Valldemossa

**n° hoja 1:50,000:** 670

**n° hoja 1:25,000:** 670-III

**Coordenadas X:** 463,00

**U.T.M. Coordenadas Y:** 4395,5

**Activo:** si

**Tipo de movimiento:** desprendimientos rocosos

**Litología:** lutitas rojas con intercalaciones de estratos de areniscas bien estratificadas del Buntsandstein. En la cala aparecen materiales del Cuaternario (torrenciales), grandes cantos envueltos en una matriz arcillo arenosa.

**Orientación del talud:** N-S, abierto hacia el W

**Altura del talud:** 15- 20 m.

**Pendiente del talud:** 60-65°

**Superficie afectada:** franja litoral

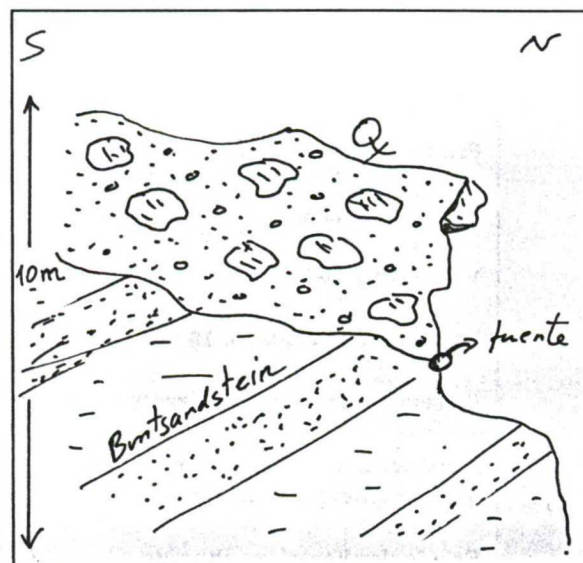
**Volumen:** bloques de hasta 1 m<sup>3</sup> de volumen

**Presencia de agua:** si, hay una fuente en la Cala, justo en el contacto entre los materiales cuaternarios y las facies inferiores del Buntsandstein. Salida de un torrente. Volumen de la fuente - 1 L / s

**Vegetación:** no

**Estado de alteración:** alterado

**Desencadenante:** erosión marina




**Daños materiales y afecciones:**

Cala

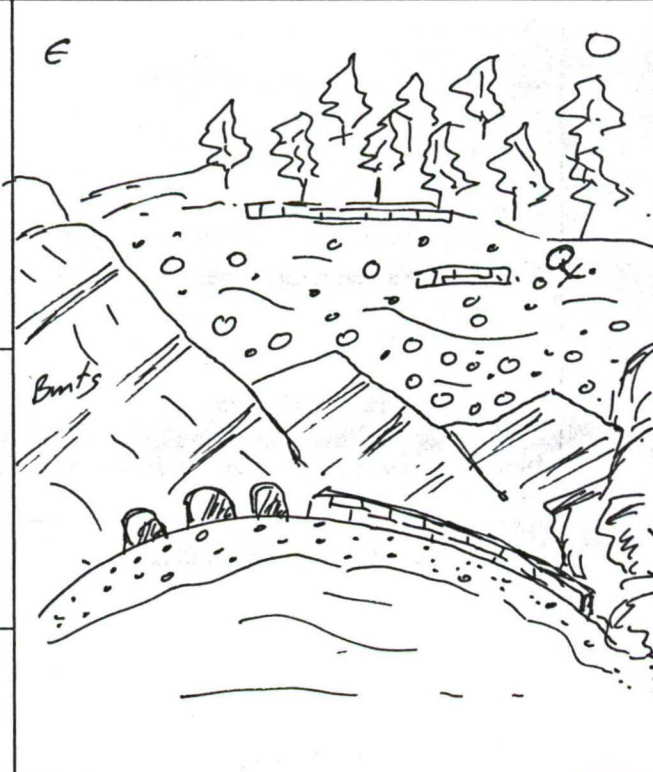
**Notas de interés:** según comunicación oral, la fuente salía anteriormente antes de las casas de S'Hort de sa Cova.



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> Movimientos de ladera <b>Fecha de registro:</b> 8/6/98	<b>REGISTRO N°33</b> <b>Fotos:</b> 120, 121, 122
<b>Paraje:</b> Hort des Romagués (frente a Urb. George Sand), al otro lado de la carretera C-710. Km 74,300 <b>Municipio:</b> Valldemossa <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670 III <b>Coordenadas X:</b> 464,15 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4394,60 <b>Fecha movimiento:</b> reciente <b>Activo):</b> si	
<b>Tipo de movimiento:</b> deslizamiento rotacional con flujos asociados  <b>Litología:</b> Arcillas violáceas del Keuper, con cuaternarios aluviales discordantemente situados a techo.  <b>Estructura:</b> no, caótico  <b>Orientación del talud:</b> N35°E, abierto hacia el W.  <b>Altura del talud:</b> 7 m.  <b>Pendiente del talud:</b> 65°  <b>Superficie afectada:</b> 150 m <sup>2</sup>  <b>Volumen:</b> 330 m <sup>3</sup>  <b>Profundidad del plano:</b> 1m.  <b>Presencia de agua:</b> no aparente  <b>Vegetación:</b> raíces "colgadas" en la parte superior.  <b>Estado de alteración:</b> alterado  <b>Desencadenante:</b> apertura camino, erosión del pie del talud.	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <b>Daños materiales y afecciones:</b> al camino         </div> <div style="flex: 1; text-align: right;">  </div> </div>	
<b>Notas de interés:</b> Hay construido un muro de piedra de contención de 1 m de anchura.	

FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> inestabilidades acantilados costeros <b>Fecha de registro:</b> 17/7/98		<b>Zona :</b> Estellencs <b>Fotos:</b>	<b>REGISTRO N° 34</b>
<b>Paraje:</b> Cala Estellencs <b>Municipio:</b> Estellencs <b>n° hoja 1:50,000:</b> 697 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 697 - II <b>Coordenadas X:</b> 454,800 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 390,180			
<b>Tipo de movimiento:</b> desprendimientos rocosos, básicamente de los bloques de los depósitos aluviales del Cuaternario. <b>Activo):</b> si			
<b>Litología:</b> En el extremo W de la Cala afloran las dolomías del Muschelkalk, con un aspecto bastante masivo (sobre ellas se asienta el chiringuito de la Cala). En toda la zona basal del acantilado afloran las areniscas del Buntsandstein, rojizas en la base y blanquecinas en la zona superior del margen E de la Cala. Se trata de areniscas de grano medio a microconglomerados, dispuestas en bancos de 0,5- 1,5 m de potencia, con laminaciones y estratificaciones cruzadas. El Buntsandstein parece fallado, con fallas normales con saltos de hasta 1m, visibles en el acantilado. Discordantemente, y erosionando las areniscas del Buntsandstein por las zonas de falla principalmente, se disponen depósitos aluviales torrenciales, constituidos por bloques redondeados muy heterométricos y poligénicos envueltos en una matriz limo-arenosa. <b>Formación:</b> Unidad de Banyalbufar.			
<b>Orientación del talud:</b> Forma semielíptica. E-W, abierta hacia el N. <b>Altura del talud:</b> Altura máxima al E de la Cala- 45 m. Altura mínima al W de la Cala- 12m. Altura media 15-20 m. <b>Pendiente del talud:</b> Prácticamente vertical en todo el frente del talud. <b>Superficie afectada:</b> Todo el frente de la Cala <b>Volumen:</b> Los bloques que se desprenden pueden tener de pocos dm <sup>3</sup> de volumen a decenas de m <sup>3</sup> .			
<b>Hidrogeología (Presencia de agua):</b> Si, la salida del torrente que está canalizada. Volumen verano- 0,5 L /s. Se observa muy bien la antigua caída en cascada del torrente, por los depósitos travertínicos dejados. <b>Vegetación:</b> no, tan sólo se observan algunos carrizos asociados a los muros de márges de la zona superior del acantilado. <b>Estado de alteración:</b> alterado			
<b>Desencadenante:</b> Erosión litoral. La base de las areniscas del Buntsandstein aparece erosionada y deja los aluviales Q "colgados en algunos puntos".			
<b>Peligrosidad:</b> <u>ALTA</u> MEDIA      BAJA		<b>Riesgo:</b> <u>ALTO</u> MEDIO      BAJO	
<b>Notas de interés y toma de muestras:</b> Es importante resaltar la forma adoptada de los depósitos torrenciales, adaptándose a la estructura.		<b>Daños materiales y afecciones:</b> bañistas en verano, que pueden superar el centenar diario. Alcobas para guardar las barcas.	



## Ficha inventario


<b>PROCESOS:</b> movimientos asociados a acantilados litorales		<b>REGISTRO N° 35</b>	
<b>Fecha de registro:</b>			
<b>Paraje:</b> Port de Estellencs <b>Municipio:</b> Estellencs <b>n° hoja 1:50,000:</b> 697 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 697- II <div style="text-align: center;"><b>Coordenadas X:</b> 54,800</div> <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 390,180			
<b>Tipo de movimiento:</b> Desprendimientos rocosos, tanto del frente del acantilado rocoso superior del Lías, como de los coluviones que éste produce, que a su vez son inestables. <b>Fecha movimiento:</b> continuos y recientes <b>Activo:</b> si			
<b>Litología:</b> Zona superior, calizas del Lías. En la base del acantilado del puerto afloran las areniscas del Buntsandstein, con las mismas características descritas en la Cala. A pie del acantilado liásico, importantes depósitos coluviales, muy heterométricos, angulosos, con una estructura caótica, envueltos en una matriz más fina. <b>Formación:</b> Unidad de Banyalbufar <b>Estructura:</b>			
<b>Orientación del talud:</b> N-S, abierto hacia el W. <b>Altura del talud:</b> máxima 100-120m <b>Pendiente del talud:</b> los primeros 40 m, 65° (Q y Bunt), el resto vertical. <b>Superficie afectada:</b> todo el frente del acantilado <b>Volumen:</b> los bloques desprendidos llegan a tener hasta más de 350 m <sup>3</sup> de volumen.			
<b>Hidrogeología (Presencia de agua):</b> no aparente <b>Vegetación:</b> desarrollo de pinos en los depósitos coluviales. Muy inclinados hacia el mar. Se observan algunos caídos. <b>Estado de alteración:</b> muy alterado.			
<b>Desencadenante:</b> erosión litoral y lluvias.			
<b>Peligrosidad:</b> <u>ALTA</u> MEDIA      BAJA			
<b>Notas de interés y toma de muestras:</b> ver fotos		<b>Riesgo:</b> <u>ALTO</u> MEDIO      BAJO	
<b>Daños materiales y afecciones:</b> al pequeño puerto, con una capacidad aproximada para 50-60 pequeñas barcas.			

FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

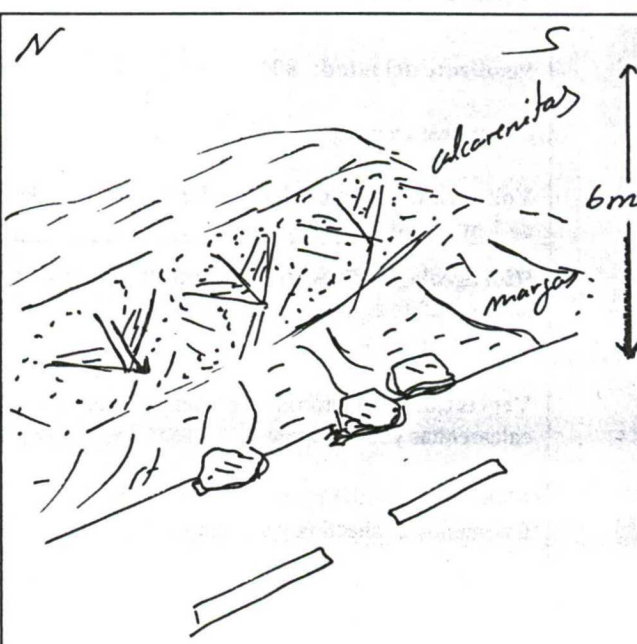
<b>PROCESOS:</b> Movimientos en taludes de carretera <b>Fecha de registro:</b> 17/9/98		<b>REGISTRO N° 36</b> Fotos:
<b>Paraje:</b> Carretera C-710, Km. 95.100 <b>Municipio:</b> Estellencs <b>n° hoja 1:50,000:</b> Palma-698 <b>n° hoja 1:25,000:</b> 697-II- Galatxó <b>Coordenadas X:</b> 455,150 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4389,225		
<b>Tipo de movimiento:</b> Desprendimientos de grandes bloques calizos, por lavado de la matriz fina que los sostiene. <b>Activo:</b> Potencialmente activo		
<b>Litología:</b> Depósitos coluviales del Cuaternario. Bloques heterométricos, angulosos fundamentalmente de calizas liásicas, envueltos en una matriz fina limo-arenosa. Se trata de un pié de monte.  <b>Estructura:</b> Caótica, no hay estructuras sedimentarias.		
<b>Orientación del talud:</b> E-W, abierto hacia el N.  <b>Altura del talud:</b> entre 4-15 m  <b>Pendiente del talud:</b> 85°  <b>Superficie afectada:</b> 2.500 m <sup>2</sup>  <b>Volumen:</b> los bloques desprendidos pueden ser superiores a 1 m <sup>3</sup> de volumen.		
<b>Hidrogeología (Presencia de agua):</b> No aparente  <b>Vegetación:</b> Pinos de edad muy joven y algo de matorral.  <b>Estado de alteración:</b> Meteorización física. Grietas de relajación de esfuerzos por apertura de la carretera.		
<b>Desencadenante:</b> Lluvias y apertura de la carretera		
<b>Peligrosidad:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span><u>ALTA</u></span> <span>MEDIA</span> <span>BAJA</span> </div>	<b>Riesgo:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>ALTO</span> <span><u>MEDIO</u></span> <span>BAJO</span> </div>	
<b>Notas de interés y toma de muestras:</b> Fotografía	<b>Daños materiales y afecciones:</b> Carretera C-710	



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS: mov. Taludes carretera</b>		<b>REGISTRO N° 37</b>	
<b>Fecha de registro:</b> 17/09/98			
<b>Paraje:</b> Carretera C-710. Km. 92,400 <b>Municipio:</b> Estellencs <b>n° hoja 1:50,000:</b> 698-Palma <b>n° hoja 1:25,000:</b> 698 III-Sa Vileta <b>Coordenadas X:</b> 456,100 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4390,550			
<b>Tipo de movimiento:</b> Flujo muy superficial en los materiales margosos y desprendimientos por descalce de los estratos de microconglomerados y calcarenitas situados a techo. <b>Activo:</b> Potencialmente si			
<b>Litología:</b> margas grisáceas muy alteradas en la base y microconglomerados y calcarenitas a techo (roca dura competente). Discordantemente se disponen materiales coluviales de pié de monte, de edad cuaternaria. <b>Formación:</b> Banyalbufar <b>Estructura:</b> Los niveles duros de microconglomerados y calcarenitas están afectados por diaclasas que independizan bloques de varios m <sup>3</sup> de volumen.			
<b>Orientación del talud:</b> E-W, abierto hacia el N.  <b>Altura del talud:</b> 8 m  <b>Pendiente del talud:</b> 80°  <b>Superficie afectada:</b> 1600 m <sup>2</sup>  <b>Volumen:</b> los bloques desprendidos puede ser de mas de 1 m <sup>3</sup> de volumen.			
<b>Hidrogeología (Presencia de agua):</b> supuestamente en el contacto entre las calcarenitas y las margas por la presencia de vegetación.  <b>Vegetación:</b> si, matorral en el contacto entre las calcarenitas y las margas.  <b>Estado de alteración:</b> margas muy alteradas, fenómenos de sheeting y slacking.			
<b>Desencadenante:</b> lluvias y apertura del talud de carretera.			
<b>Peligrosidad:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span>ALTA</span> <span><u>MEDIA</u></span> <span>BAJA</span> </div>	<b>Riesgo:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span>ALTO</span> <span><u>MEDIO</u></span> <span>BAJO</span> </div>		
<b>Notas de interés y toma de muestras:</b> Fotos	<b>Daños materiales y afecciones:</b> afecciones a la carretera.		

FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> movimientos de talud de carretera <b>Fecha de registro:</b> 17/9/98		<b>REGISTRO N° 38</b> Fotos:
<b>Paraje:</b> C-710, km. 91.800 – 92.100 <b>Municipio:</b> Estellencs <b>n° hoja 1:50,000:</b> 698-Palma <b>n° hoja 1:25,000:</b> 698 I – Sa Vileta <b>Coordenadas X:</b> 456,030 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4390,750		
<b>Tipo de movimiento:</b> Pequeños flujos superficiales en las margas y deslizamientos en cuña de los niveles calcareníticos (proceso similar al de Cala Banyalbufar). <b>Activo:</b> potencialmente activo.		
<b>Litología:</b> margas grises muy alteradas con niveles de calcarenitas intercalados de hasta 1 m de espesor. <b>Formación:</b> Banyalbufar (RODRÍGUEZ PEREA, 1984)  <b>Estructura:</b> Aparecen dos familias principales de discontinuidades que afectan fundamentalmente a los niveles calcareníticos.  <div style="text-align: center;">           J1-N120°e/75°SW            J2-n60°E/50° NNW         </div>		
<b>Orientación del talud:</b> N-S, abierto hacia el W  <b>Altura del talud:</b> hasta 5m  <b>Pendiente del talud:</b> 72°  <b>Superficie afectada:</b> 1500m <sup>2</sup>  <b>Volumen:</b> Bloques de más de 1m <sup>3</sup> de volumen		
<b>Hidrogeología (Presencia de agua):</b> no aparente  <b>Vegetación:</b> matorral  <b>Estado de alteración:</b> margas muy alteradas. Sheeting y slacking	<b>Desencadenante:</b> apertura de carretera. Erosión diferencial entre las margas y calcarenitas. Lluvias	
<b>Peligrosidad:</b> <div style="text-align: center;">           ALTA      <u>MEDIA</u>      BAJA         </div>		
<b>Riesgo:</b> <div style="text-align: center;">           ALTO      <u>MEDIO</u>      BAJO         </div>		<b>Notas de interés y toma de muestras:</b> El tipo de movimiento es el mismo que el que afecta a la cala de Banyalbufar
<b>Daños materiales y afecciones:</b> Carretera C-710. Se observan numerosos bloques desprendidos en la cuneta		



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA


<b>PROCESOS:</b> movimientos de taludes en carretera <b>Fecha de registro:</b> 17/9/98		<b>REGISTRO N° 39</b> <b>Fotos:</b>	
<b>Paraje:</b> C-710. km 91,300 – 90,300 <b>Municipio:</b> Estellencs <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670-Sóller <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670 III Esporles <b>Coordenadas X:</b> 456,050 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4391,500			
<b>Tipo de movimiento:</b> Flujos en los sedimentos margosos del Keuper y desprendimientos de los bloques de los sedimentos coluviales que quedan en voladizo. <b>Activo:</b> si			
<b>Litología:</b> Margas de color rojo, pardas y ceniza con yesos del Keuper y materiales coluviales del Cuaternario sobreimpuestos discordantemente, con grandes bloques fundamentalmente de calizas liásicas.  <b>Formación:</b> Unidad de Banyalbufar  <b>Estructura:</b> Las margas del Keuper presentan una cierta laminación tectónica.			
<b>Orientación del talud:</b> N-S, abierto hacia el W  <b>Altura del talud:</b> 5 m  <b>Pendiente del talud:</b> 70°  <b>Superficie afectada:</b> 5.000 m <sup>2</sup>  <b>Volumen:</b> Bloques coluviales de hasta varios m <sup>3</sup> de volumen.			
<b>Hidrogeología (Presencia de agua):</b> No aparente  <b>Vegetación:</b> En el talud, no.  <b>Estado de alteración:</b> keuper muy alterado.			
<b>Desencadenante:</b> Lluvias y apertura carretera			
<b>Peligrosidad:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span>ALTA</span> <span><u>MEDIA</u></span> <span>BAJA</span> </div>	<b>Riesgo:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span>ALTO</span> <span><u>MEDIO</u></span> <span>BAJO</span> </div>		
<b>Notas de interés y toma de muestras:</b> fotografías	<b>Daños materiales y afecciones:</b> A la carretera C-710		

FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

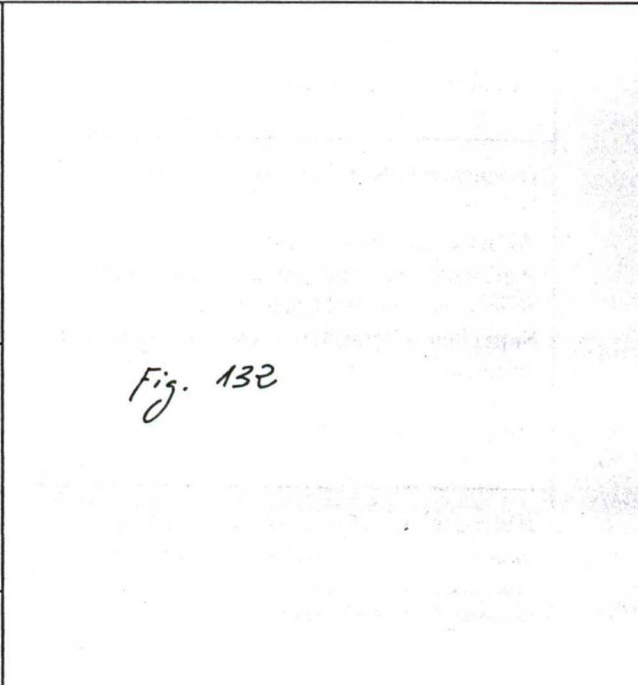
<b>PROCESOS:</b> movimientos de ladera <b>Fecha de registro:</b> 17/9/98		<b>REGISTRO N° 40</b>
<b>Paraje:</b> C-710. Km. 90,610 <b>Municipio:</b> Banyalbufar <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670-Sóller <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670-III Esporles <b>Coordenadas X:</b> 456,550 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4391,575		
<b>Tipo de movimiento:</b> Flujo, movimiento en masa. La movilización de los materiales margosos del Keuper arrastra los sedimentos coluviales superpuestos de forma discordante. <b>Activo (SI,NO, no se sabe):</b> Potencialmente si.		
<b>Litología:</b> margas rojas con yesos del Keuper y sedimentos coluviales de pie de monte superpuestos.  <b>Formación:</b> Unidad Banyalbufar (ITGE, 1991)  <b>Estructura:</b> caótica		
<b>Orientación del talud:</b> NE-SW, abierto al NW  <b>Altura del talud:</b> 25 m  <b>Pendiente del talud:</b> 55°  <b>Superficie afectada:</b> 1000 m <sup>2</sup>  <b>Volumen:</b> 4000 m <sup>3</sup>  <b>Profundidad del plano:</b> 4 m		
<b>Hidrogeología (Presencia de agua):</b> no aparente. La zona movida constituye ahora una zona preferencial de drenaje.  <b>Vegetación:</b> pinos arrancados y caídos.  <b>Estado de alteración:</b> alterado		
<b>Desencadenante:</b> lluvias		
<b>Peligrosidad:</b> <u>ALTA</u> MEDIA      BAJA	<b>Riesgo:</b> ALTO <u>MEDIO</u> BAJO	
<b>Notas de interés y toma de muestras:</b> debió de ser anterior a la apertura de la carretera, ya que se ha construido un dren por debajo de la misma. No es un curso torrencial.	<b>Daños materiales y afecciones:</b> Puede reactivarse y afectar a la C-710	



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> movimientos de laderas <b>Fecha de registro:</b> 30/10/98		<b>REGISTRO N° 41</b>
<b>Paraje:</b> Carretera Estellencs-Banyalbufar C-710, km 89.00 – 90,100 <b>Municipio:</b> Banyalbufar <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670- Sóller <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670 III Esporles <b>Coordenadas X:</b> 457,00 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4392,00		
<b>Tipo de movimiento:</b> Desprendimientos rocosos.  <b>Fecha movimiento:</b> Se ven grandes cicatrices en el frente rocoso de desprendimientos recientes. <b>Activo (SI,NO, no se sabe):</b> si		
<b>Litología:</b> Calizas del Lías, a cuyo pié se producen depósitos coluviales con bloques de más de 25 m <sup>3</sup> de volumen, envueltos en una matriz más fina. Los bloques han sufrido transportes de 100 m como máximo. En la base del talud, al pié de la carretera aparecen las margas miocenas de la Formación Banyalbufar.  <b>Formación:</b> Facies liásicas y F. Turbidítica de Banyalbufar en la base del talud.  <b>Estructura:</b> Calizas muy fracturadas. No se observa estratificación en las calizas liásicas.		
<b>Orientación del talud:</b> N 140° E, abierto hacia el W <b>Altura del talud:</b> Hasta 100 m <b>Pendiente del talud:</b> 90° en el farallón del Lías y 50° en los coluviales del Cuaternario. <b>Superficie afectada:</b> 0,1 Km <sup>2</sup> . Del frente de la carretera. <b>Volumen:</b> > 25 m <sup>3</sup> algunos bloques desprendidos. Heterometría en los tamaños.		
<b>Hidrogeología (Presencia de agua):</b> Hay dos fuentes: Font de Sa Menta y Font des Garbell (fotos). Aparecen en el contacto entre el Lías-Muschelkalk y las margas de Banyalbufar. <b>Vegetación:</b> En el coluvión hay pinos jóvenes muy inclinados hacia la ladera.		
<b>Desencadenante:</b> lluvias		
<b>Peligrosidad:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span><u>ALTA</u></span> <span>MEDIA</span> <span>BAJA</span> </div>	<b>Riesgo:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span><u>ALTO</u></span> <span>MEDIO</span> <span>BAJO</span> </div>	
<b>Notas de interés y toma de muestras:</b> Importantes depósitos de CO <sub>3</sub> Ca (a modo de estalactitas) en los farallones del Lías. Quedan “chupones”	<b>Daños materiales y afecciones:</b> Carretera y varias casas al pié del talud.	

## Ficha inventario

<b>PROCESOS:</b> movimientos taludes de carretera <b>Fecha de registro:</b> 27/11/98		<b>REGISTRO N° 42</b>
<b>Paraje:</b> C-710, Km 88,5. Junto a S'Atalaya de Banyalbufar <b>Municipio:</b> Banyalbufar <b>n° hoja 1:50,000:</b> Sóller 670 <b>n° hoja 1:25,000:</b> Esporles, 670-III <b>Coordenadas X:</b> 457,420 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4393		
<b>Tipo de movimiento:</b> Desprendimientos de bloques. En conjunto parece que hay una cierta componente rotacional. <b>Fecha movimiento:</b> Otoño 1998 <b>Activo (SI,NO, no se sabe):</b> si		
<b>Litología:</b> Depósitos coluviales del Cuaternario: bloques heterométricos muy angulosos envueltos en una matriz de color pardo, limo-arcillosa. Los bloques no son excesivamente grandes, comparados con otros sedimentos de este tipo en la Serra.  <b>Formación:</b> Cuaternario  <b>Estructura:</b> ninguna		
<b>Orientación del talud:</b> E-W, abierto hacia el W  <b>Altura del talud:</b> máxima de 8 m  <b>Pendiente del talud:</b> 70°  <b>Superficie afectada:</b> 500 m <sup>2</sup> del frente de la carretera  <b>Volumen:</b> bloques hasta 0,1 m <sup>3</sup>		
<b>Hidrogeología (Presencia de agua):</b> si, suelo mojado. Llovió el día anterior.  <b>Vegetación:</b> no  <b>Estado de alteración:</b> alterado		
<b>Desencadenante:</b> Lluvias, y en origen la apertura de la carretera.		
<b>Peligrosidad:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span>ALTA</span> <span><u>MEDIA</u></span> <span>BAJA</span> </div>	<b>Riesgo:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span>ALTO</span> <span><u>MEDIO</u></span> <span>BAJO</span> </div>	
<b>Notas de interés y toma de muestras:</b> Se ha construido un muro de piedra escalonado, en cuyo centro llega a la máxima altura del talud. Se han puesto mallas realizadas con madera y fibra vegetal, supuestamente para no impactar en el paisaje. ineficaz.	<b>Daños materiales y afecciones:</b> a la carretera C-710	



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> Movimientos de taludes carretera		<b>REGISTRO N° 43</b>
<b>Fecha de registro:</b> 27/11/98		
//		
<b>Paraje:</b> C-710, km 89,7 <b>Municipio:</b> Banyalbufar <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670 Sóller <b>n° hoja 1:25,000:</b> Esporles 670-III <b>Coordenadas X:</b> 457,00 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4392,100		
<b>Tipo de movimiento:</b> Realmente el talud es estable. Por procesos de alteración superficial, aparecen pequeños flujos que afectan a los sedimentos finos del Buntsandstein. <b>Activo (SI,NO, no se sabe):</b> si		
<b>Litología:</b> Lutitas rojas del Buntsandstein. Es el único punto a lo largo de la carretera donde afloran estos materiales. <b>Formación:</b> Buntsandstein  <b>Estructura:</b> Se observa una estratificación buzante unos 30° hacia el S. No se ha podido medir dirección del plano		
<b>Orientación del talud:</b> N140°E, abierto hacia el SW  <b>Altura del talud:</b> 8 m  <b>Pendiente del talud:</b> 85°  <b>Superficie afectada:</b> 150 m <sup>2</sup> del talud de carretera.		
<b>Hidrogeología (Presencia de agua):</b> húmedo, llovió el día anterior.  <b>Vegetación:</b> no  <b>Estado de alteración:</b> alterado. Recuerda mucho el comportamiento de las margas de Banyalbufar. Se descascarillan.		
<b>Desencadenante:</b> lluvias		
<b>Peligrosidad:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span>ALTA</span> <span>MEDIA</span> <span><u>BAJA</u></span> </div>		
<b>Riesgo:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span>ALTO</span> <span>MEDIO</span> <span><u>BAJO</u></span> </div>		
<b>Notas de interés y toma de muestras:</b> Se toma muestra para granulometría y límites de Atteberg. Bunts-1	<b>Daños materiales y afecciones:</b> pequeños flujos en la cuneta que no llegan a invadir la calzada.	

FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

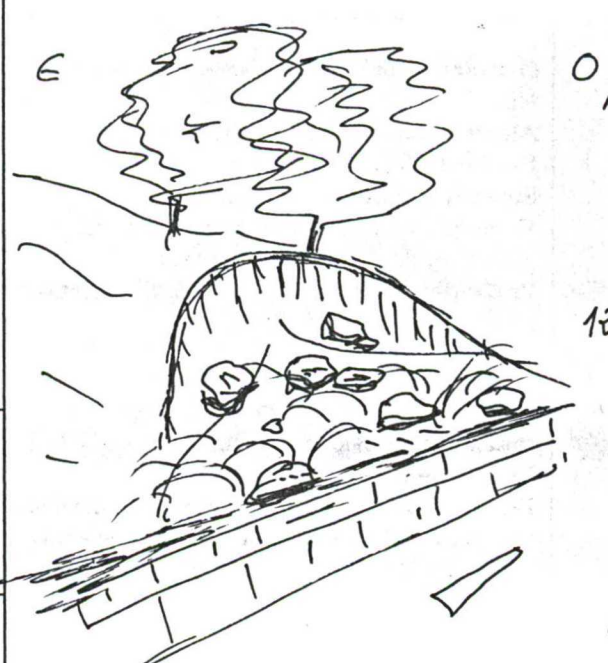
<b>PROCESOS:</b> movimientos de taludes de carretera <b>Fecha de registro:</b> 27/11/98		<b>REGISTRO N° 44</b>
<b>Paraje:</b> C-710, Km. 90-91,5 <b>Municipio:</b> Banyalbufar-Estellencs <b>n° hoja 1:50,000:</b> 670-Sóller <b>n° hoja 1:25,000:</b> 670-III. Esporles <b>Coordenadas X:</b> 456,600 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4391,500		
<b>Tipo de movimiento:</b> Deslizamientos rotacionales y desprendimientos de bloques asociados. <b>Fecha movimiento:</b> actual <b>Activo (SI,NO, no se sabe):</b>		
<b>Litología:</b> Sedimentos de pié de monte del Cuaternario, pueden tener más de 10 m de potencia. Bloques heterométricos generalmente de calizas liásicas, envueltos en una matriz limo-arcillosa de color pardo.  <b>Formación:</b> Coluviales Cuaternario  <b>Estructura:</b> ninguna		
<b>Orientación del talud:</b> varias, N-S, NE-SW, abierto hacia el W, NW.  <b>Altura del talud:</b> variable, hasta 12 m  <b>Pendiente del talud:</b> 80°  <b>Superficie afectada:</b> varios puntos del talud de carretera, más de 1000 m <sup>2</sup>  <b>Volumen:</b> bloques de hasta 1 m <sup>3</sup>  <b>Profundidad del plano:</b> 0,5-2 m		
<b>Hidrogeología (Presencia de agua):</b> suelo húmedo. Llovió día anterior.  <b>Vegetación:</b> no  <b>Estado de alteración:</b> alterado		
<b>Desencadenante:</b> En origen apertura de la carretera. En la actualidad lluvias.		
<b>Peligrosidad:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span>ALTA</span> <span><u>MEDIA</u></span> <span>BAJA</span> </div>		
<b>Notas de interés y toma de muestras:</b> Hay muros de sostenimiento a lo largo de este tramo de carretera.	<b>Daños materiales y afecciones:</b> C-710	



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> movimientos de taludes de carretera		<b>REGISTRO N1 45</b>	
<b>Fecha de registro:</b> 25/3/99			
<b>Paraje:</b> C-710. Km. 80,6 - 80,8. Tramo de carretera desde el cruce del Port des Canonge hacia Banyalbufar <b>Municipio:</b> Banyalbufar <b>n1 hoja 1:50,000:</b> 670. Sóller <b>n1 hoja 1:25,000:</b> 670- III. Esporles <b>Coordenadas X:</b> 461,325 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4392, 700			
<b>Tipo de movimiento:</b> Desprendimientos rocosos en las calcarenitas (en algunos casos deslizamientos en cuñas) y deslizamientos rotacionales con flujos en las margas. <b>Fecha movimiento:</b> ¿apertura carretera? <b>Activo (SI,NO, no se sabe):</b> si			
<b>Litología:</b> Alternancia de margas grises y calcarenitas amarillentas. Los niveles de calcarenitas presentan potencias de hasta 3 m. Las margas están muy alteradas en superficie. <b>Formación:</b> Fm. Turbidítica de Banyalbufar <b>Estructura:</b> Los niveles de calcarenitas presentan una estratificación casi vertical. Las margas procesos de sheeting: aspecto descascarillado.			
<b>Orientación del talud:</b> NNW-SSE, abierto hacia el NE. <b>Altura del talud:</b> máx. de 10 m. <b>Pendiente del talud:</b> 65° <b>Superficie afectada:</b> 2000 m <sup>2</sup> <b>Volumen:</b> Los bloques desprendidos de calcarenitas pueden ser de varios m <sup>3</sup> de volumen <b>Profundidad del plano:</b> En los deslizamientos que afectan a las margas de 0,5 m.			
<b>Hidrogeología (Presencia de agua):</b> Algo de agua en el contacto entre margas/ calcarenitas. Llovió la noche anterior <b>Vegetación:</b> No <b>Estado de alteración:</b> Los planos de discontinuidad que afectan a las calcarenitas están muy abiertos (varios cm. de apertura). Las margas están muy meteorizadas.			
<b>Desencadenante:</b> Apertura carretera			
<b>Peligrosidad:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span><u>ALTA</u></span> <span>MEDIA</span> <span>BAJA</span> </div>	<b>Riesgo:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span><u>ALTO</u></span> <span>MEDIO</span> <span>BAJO</span> </div>		
<b>Notas de interés y toma de muestras:</b> Se ha construido un muro de contención de piedra seca de hasta 2,5 m de altura. En la carretera hay una señal de "peligro desprendimientos"	<b>Daños materiales y afecciones:</b> Carretera		

FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

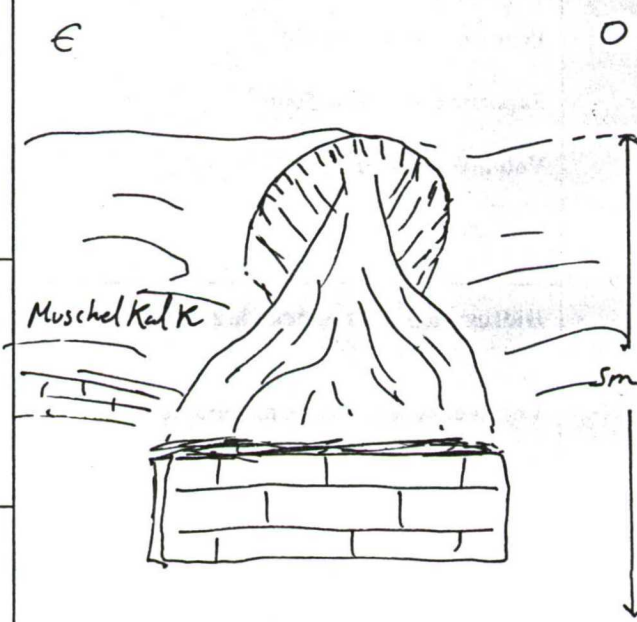
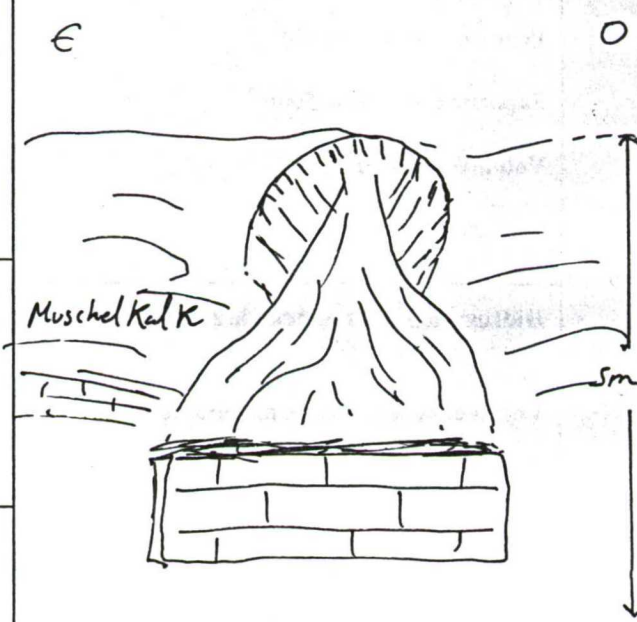
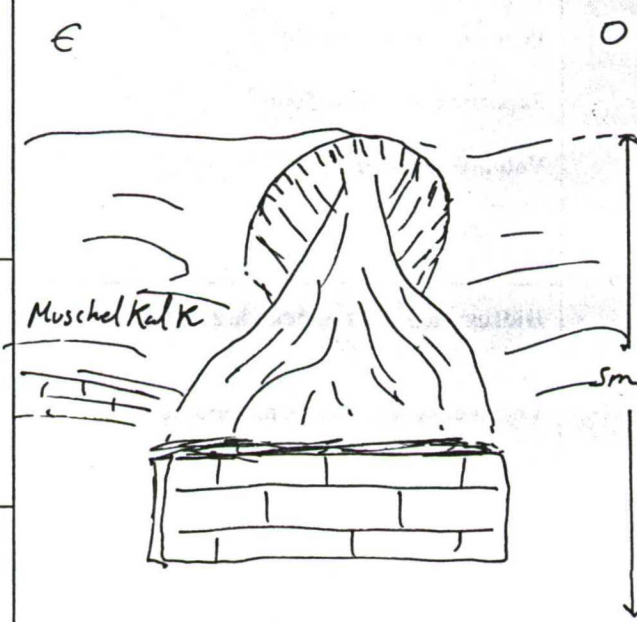
<b>PROCESOS:</b> Movimientos de taludes de carretera <b>Fecha de registro:</b> 25/3/99		<b>REGISTRO N° 46</b>
<b>Paraje:</b> C-710. Km. 80,87. Tramo desde el cruce del Port des Canonge hacia Banyalbufar <b>Municipio:</b> Banyalbufar <b>n1 hoja 1:50,000:</b> 670. Sóller <b>n1 hoja 1:25,000:</b> 670-III. Esporles <b>Coordenadas X:</b> 461, 225 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4392, 8		
<b>Tipo de movimiento:</b> Deslizamiento rotacional con flujo asociado <b>Fecha movimiento:</b> ¿Apertura carretera? <b>Activo (SI,NO, no se sabe):</b> si		
<b>Litología:</b> Sedimentos coluviales del Cuaternario. Cantos heterométricos envueltos en una matriz arcillosa  <b>Formación:</b> Cuaternario reciente  <b>Estructura:</b> Aparece una cierta estratificación horizontal, como si se tartara de diferentes avalanchas de sedimento.		
<b>Orientación del talud:</b> E- W, abierto hacia el N  <b>Altura del talud:</b> 5 m.  <b>Pendiente del talud:</b> 60°  <b>Superficie afectada:</b> 500 m <sup>2</sup>  <b>Volumen:</b> 500 m <sup>3</sup>  <b>Profundidad del plano:</b> 0,5- 1m		
<b>Hidrogeología (Presencia de agua):</b> mojado. Lluvia noche anterior. <b>Vegetación:</b> matorral en la base <b>Estado de alteración:</b> alterado	<b>Desencadenante:</b> Apertura carretera- Lluvias	
<b>Peligrosidad:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span>ALTA</span> <span><u>MEDIA</u></span> <span>BAJA</span> </div>		
<b>Riesgo:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span>ALTO</span> <span><u>MEDIO</u></span> <span>BAJO</span> </div>	<b>Daños materiales y afecciones:</b> Carretera. Hay construido un muro de marés de 1 m. de altura	
<b>Notas de interés y toma de muestras:</b> Está en una vaguada con una geomorfología que parece indicar un deslizamiento antiguo.		



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> Movimientos de taludes en carretera <b>Fecha de registro:</b> 25/3/99		<b>REGISTRO N° 47</b>
<b>Paraje:</b> C-710. Km. 80,9 - 81 <b>Municipio:</b> Banyalbufar <b>n1 hoja 1:50,000:</b> 670. Sóller <b>n1 hoja 1:25,000:</b> 670-III Esporles <b>Coordenadas X:</b> 461,17 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4392, 85		
<b>Tipo de movimiento:</b> Deslizamiento rotacional con flujo asociado. Quedan grandes bloques sueltos que pueden rodar por el talud. <b>Fecha movimiento:</b> Reciente <b>Activo (SI,NO, no se sabe):</b> si		
<b>Litología:</b> Sedimentos coluviales del Cuaternario. Bloques heterométricos , algunos de varios m <sup>3</sup> de volumen, envueltos en una matriz arcillosa de coloración rojiza. En la base aflora el Muschelkalk (facies margosas) con una estratificación centimétrica. <b>Formación:</b> Cuaternario reciente <b>Estructura:</b> El Muschelkalk de la base aparece plegado y con estratificación subhorizontal.		
<b>Orientación del talud:</b> NW-SE, abierto hacia el NE.  <b>Altura del talud:</b> 5m.  <b>Pendiente del talud:</b> 60°.  <b>Superficie afectada:</b> 500m <sup>2</sup>  <b>Volumen:</b> 750 m <sup>3</sup>  <b>Profundidad del plano:</b> 1,5 m.		
<b>Hidrogeología (Presencia de agua):</b> Mojado. Lluvia noche anterior.  <b>Vegetación:</b> En la base, matorral reciente.  <b>Estado de alteración:</b> Alterado		
<b>Desencadenante:</b> Apertura carretera- Lluvias		
<b>Peligrosidad:</b> <u>ALTA</u> MEDIA      BAJA	<b>Riesgo:</b> <u>ALTO</u> MEDIO      BAJO	
<b>Notas de interés y toma de muestras:</b> Pueden quedar grandes bloque sueltos y rodar por el talud.	<b>Daños materiales y afecciones:</b> Carretera. Hay un muro de piedra seca de 0,5 m. de altura.	

FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

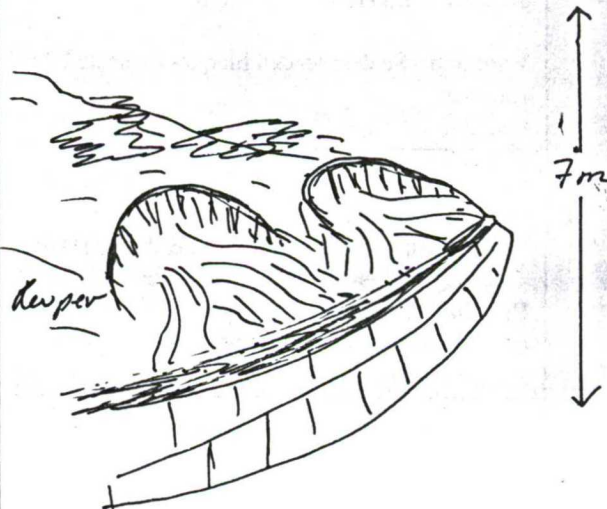
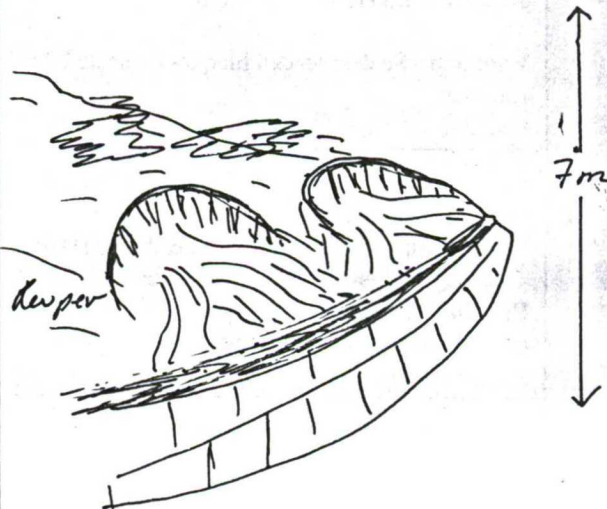
<b>PROCESOS:</b> Movimientos de taludes en carretera		<b>REGISTRO N° 48</b>
<b>Fecha de registro:</b> 25/3/99		:
<b>Paraje:</b> C-710. Km. 81,9 <b>Municipio:</b> Banyalbufar <b>n1 hoja 1:50,000:</b> 670. Sóller <b>n1 hoja 1:25,000:</b> 670. Esporles <b>Coordenadas X:</b> 460,750 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4392,95		
<b>Tipo de movimiento:</b> Flujo <b>Fecha movimiento:</b> reciente <b>Activo (SI,NO, no se sabe):</b> si		
<b>Litología:</b> Nivel alterado del Muschelkalk, constituido fundamentalmente por arcillas. En la base aparece el Muschelkalk (facies margosas) ligeramente plegado y en estratos centimétricos, casi horizontales.		
<b>Formación:</b> Muschelkalk		
<b>Estructura:</b> Ligero plegamiento		
<b>Orientación del talud:</b> E-W, abierto hacia el N.  <b>Altura del talud:</b> 4 m.  <b>Pendiente del talud:</b> 70°  <b>Superficie afectada:</b> 200m <sup>2</sup>  <b>Volumen:</b>		
<b>Hidrogeología (Presencia de agua):</b> Mojado. Lluvia noche anterior		
<b>Vegetación:</b> matorral enterrado en la base		
<b>Estado de alteración:</b> Alterado. Regolito.		
<b>Desencadenante:</b> Lluvias.		
<b>Peligrosidad:</b> ALTA      MEDIA <u>BAJA</u>		
<b>Riesgo:</b> ALTO <u>MEDIO</u> BAJO		
<b>Notas de interés y toma de muestras:</b>	<b>Daños materiales y afecciones:</b> Muro de piedra seca de 70 cm de altura donde queda retenido el material.	



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> Movimientos de taludes en carretera		<b>REGISTRO Nº 49</b>
<b>Fecha de registro:</b> 25/3/99		
<b>Paraje:</b> C-710. Km. 82,1 – 82,3 <b>Municipio:</b> Banyalbufar <b>n1 hoja 1:50,000:</b> 670. Sóller <b>n1 hoja 1:25,000:</b> 670 III. Esporles <b>Coordenadas X:</b> 460, 65 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4393, 1		
<b>Tipo de movimiento:</b> Desprendimientos rocosos y deslizamientos de rocas en cuña. <b>Fecha movimiento:</b> Continuos a lo largo del tiempo <b>Activo (SI,NO, no se sabe):</b> si		
<b>Litología:</b> Dolomías del Muschelkalk, bien estratificadas (tableadas) en bancos de 0,5 m. Están afectadas por planos de discontinuidad. <b>Formación:</b> Muschelkalk, facies dolomías tableadas <b>Estructura:</b> Estratificación: N-S / 35° W Discontinuidad principal: NW-SE / 75° NE		
<b>Orientación del talud:</b> N-S, abierto hacia el E.  <b>Altura del talud:</b> Hasta 60 m.  <b>Pendiente del talud:</b> 70°  <b>Superficie afectada:</b> 12,000 m <sup>2</sup>  <b>Volumen:</b> Se desprenden bloques de hasta 20 m <sup>3</sup> de volumen		
<b>Hidrogeología (Presencia de agua):</b> Planos de discontinuidad húmedos. <b>Vegetación:</b> Pinos muy inclinados hacia el talud  <b>Estado de alteración:</b> Los planos de discontinuidad tienen aperturas de hasta 6 cm.		
<b>Desencadenante:</b> Apertura carretera, lluvias.		
<b>Peligrosidad:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span><u>ALTA</u></span> <span>MEDIA</span> <span>BAJA</span> </div>	<b>Riesgo:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span><u>ALTO</u></span> <span>MEDIO</span> <span>BAJO</span> </div>	
<b>Notas de interés y toma de muestras:</b> En algunos puntos el talud está revestido de piedra	<b>Daños materiales y afecciones:</b> Carretera	

FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

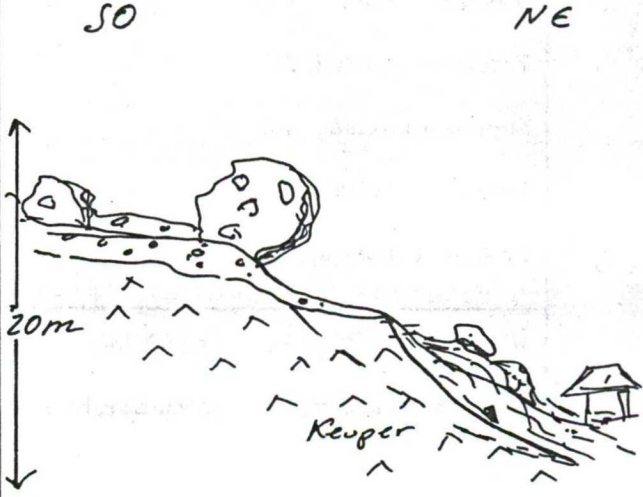
<b>PROCESOS:</b> Movimientos de taludes en carretera <b>Fecha de registro:</b> 25/3/99		<b>REGISTRO N° 50</b>
<b>Paraje:</b> C-710. Km. 82,8- 82,9 <b>Municipio:</b> Banyalbufar <b>n1 hoja 1:50,000:</b> 670. Sóller <b>n1 hoja 1:25,000:</b> 670-III. Esporles <b>Coordenadas X:</b> 460,15 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4393,6		
<b>Tipo de movimiento:</b> Flujos de sedimentos finos. Cicatrices en cabecera semicirculares. <b>Fecha movimiento:</b> Recientes <b>Activo (SI,NO, no se sabe):</b> si		
<b>Litología:</b> Margas violáceas y rojizas del Keuper. Presencia de yesos  <b>Formación:</b> Keuper  <b>Estructura:</b> estratos plegados		
<b>Orientación del talud:</b> NW-SE, abierto hacia el NE  <b>Altura del talud:</b> 7m  <b>Pendiente del talud:</b> 40° (talud carretera)  <b>Superficie afectada:</b> 700m <sup>2</sup>  <b>Volumen:</b> 2200 m <sup>3</sup>  <b>Profundidad del plano:</b> 2m	<div style="text-align: right; margin-bottom: 10px;"> <i>NO</i> <span style="margin-left: 50px;"><i>SE</i></span> </div> 	
<b>Hidrogeología (Presencia de agua):</b> Mojado. Llovió noche anterior <b>Vegetación:</b> Caída y mezclada en la masa movilizada <b>Estado de alteración:</b> alterado	<div style="text-align: right; margin-bottom: 10px;"> <i>NO</i> <span style="margin-left: 50px;"><i>SE</i></span> </div> 	
<b>Desencadenante:</b> Lluvias		
<b>Peligrosidad:</b> <div style="text-align: center;">             ALTA      <u>MEDIA</u>      BAJA           </div>	<b>Riesgo:</b> <div style="text-align: center;">             ALTO      <u>MEDIO</u>      BAJO           </div>	
<b>Notas de interés y toma de muestras:</b> La pendiente de la ladera de este tramo es mucho menor que la del resto del área	<b>Daños materiales y afecciones:</b> Carretera. Muro de retención de 70 cm. de altura	



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> Movimientos en taludes de carretera <b>Fecha de registro:</b> 25/3/99		<b>REGISTRO Nº 51</b>
<b>Paraje:</b> C-710. Km. 83- 83,2 <b>Municipio:</b> Banyalbufar <b>n1 hoja 1:50,000:</b> 670. Sóller <b>n1 hoja 1:25,000:</b> 670. Esporles <b>Coordenadas X:</b> 460,05 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4393,7		
<b>Tipo de movimiento:</b> Flujos principalmente, con cicatrices semicirculares en cabecera que parecen indicar una componente de deslizamiento rotacional. <b>Fecha movimiento:</b> reciente <b>Activo (SI,NO, no se sabe):</b> si		
<b>Litología:</b> Margas violáceas y rojizas del Keuper. A techo aparecen sedimentos coluviales del Cuaternario de 0,5 m. de espesor. <b>Formación:</b> Keuper <b>Estructura:</b> Plegado		
<b>Orientación del talud:</b> NW-SE, abierto al NE  <b>Altura del talud:</b> 7 – 10m.  <b>Pendiente del talud:</b> 25°.  <b>Superficie afectada:</b> 1400 m <sup>2</sup>  <b>Volumen:</b> 1500 m <sup>3</sup>  <b>Profundidad del plano:</b> 1,2 m.		
<b>Hidrogeología (Presencia de agua):</b> Mojado. Llovió noche anterior <b>Vegetación:</b> matorral muy reciente en la base <b>Estado de alteración:</b> alterado		
<b>Desencadenante:</b> Lluvias- apertura carretera		
<b>Peligrosidad:</b> ALTA <u>MEDIA</u> BAJA	<b>Riesgo:</b> ALTO      MEDIO      BAJO	
<b>Notas de interés y toma de muestras:</b>	<b>Daños materiales y afecciones:</b> Muro de retención de 1,5 m. De altura	

FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> Movimientos de ladera <b>Fecha de registro:</b> 20 /4/99		<b>REGISTRO N° 52</b> Fotos: diapositivas
<b>Paraje:</b> Es Guix. PM-213, Km. 14,8. A la izquierda del camino a Coma Freda y el Puig de Massanella Cerca del Coll de Sa Batalla, antes de la gasolinera viniendo de Caimari. <b>Municipio:</b> Escorça <b>n1 hoja 1:50,000:</b> 671- Inca <b>n1 hoja 1:25,000:</b> 671-I <b>Coordenadas X:</b> 490, 980 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4406,800		
<b>Tipo de movimiento:</b> Deslizamiento complejo. Rotacional con flujo asociado  <b>Fecha movimiento:</b> Verano de 1998 <b>Activo (SI,NO, no se sabe):</b> si		
<b>Litología:</b> Coluvial del Cuaternario, con bastante porcentaje de arcilla y limo y que envuelven bloques heterométricos de varios m <sup>3</sup> de volumen. Hay enormes bloques caídos que pueden tener hasta 900 m <sup>3</sup> de volumen. Estos bloques caídos son coluviales cementados (tipo debri-flow) de edad probablemente Pleistoceno. El material descrito anteriormente descansa sobre el Keuper: margas rojas y grises con gran cantidad de yesos. El Keuper puede aparecer entre 1- 4 m. de profundidad.,  <b>Estructura:</b> Ninguna		
<b>Orientación del talud:</b> N130°E, abierto hacia el NE <b>Altura del talud:</b> 20 m. <b>Pendiente del talud:</b> 22° <b>Superficie afectada:</b> 1000m <sup>2</sup> <b>Volumen:</b> 3600 m <sup>3</sup> <b>Profundidad del plano:</b> 6 m. Aparecen grietas de tracción en cabecera con aberturas de hasta 0,7m. y longitudes de 17 m.		
<b>Hidrogeología (Presencia de agua):</b> no. Seco. <b>Vegetación:</b> No. Encina caída y comenzando a secarse <b>Estado de alteración:</b> alterado	<b>Peligrosidad:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span>ALTA</span> <span><u>MEDIA</u></span> <span>BAJA</span> </div>	
<b>Desencadenante:</b> Excavación realizada para construir un Hotel Rural.		
<b>Peligrosidad:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span>ALTA</span> <span><u>MEDIA</u></span> <span>BAJA</span> </div>	<b>Riesgo:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <span><u>ALTO</u></span> <span>MEDIO</span> <span>BAJO</span> </div>	
<b>Notas de interés y toma de muestras:</b> Se va a construir en la zona un Hotel rural. Se ha realizado informe geotécnico. Tres sondeos y ensayos de laboratorio en las muestras del Keuper. Es Guix-1,2,3. LABORATORIO BALEAR PARA LA CONSTRUCCIÓN, S.L.	<b>Daños materiales y afecciones:</b> Justo encima del talud, hay un bloque de roca de más de 900 m <sup>3</sup> de volumen que puede verse descalzado.	



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

**PROCESOS:** mov.ladera

**REGISTRO N° 53**

**Fecha de registro:** 5/3/98

**Paraje:** Bellavista ( Port de Sóller)

**Municipio:** Sóller

**n° hoja 1:50,000:** 670

**n° hoja 1:25,000:** 670-II

**Coordenadas X:** 474

**U.T.M. Coordenadas Y:** 406,5

**Activo:** si

**Tipo de movimiento:** desprendimientos rocosos

**Litología:** calizas del Lías, muy tectonizadas. En la base del farallón se depositan sedimentos coluviales de gran potencia. Se trata de grandes bloques envueltos en una matriz arcillosa, con estructuras de depósito paralelas al talud (45°). Llama la atención la gran cantidad de arcillas de color pardo-rojizas, resultado de una intensa meteorización química.

**Estructura:** alta fracturación, sin familias definidas

**Orientación del talud:** WWS

**Altura del talud:** 150 m

**Pendiente del talud:** en el acantilado 90°,  
en el aluvial del pie 45°

**Superficie afectada:** todo el acantilado

**Volumen:** los bloques desprendidos son de numerosos tamaños, superiores a  $> 40 \text{ m}^3$  de volumen

**Profundidad del plano:**

**Presencia de agua:** no aparente

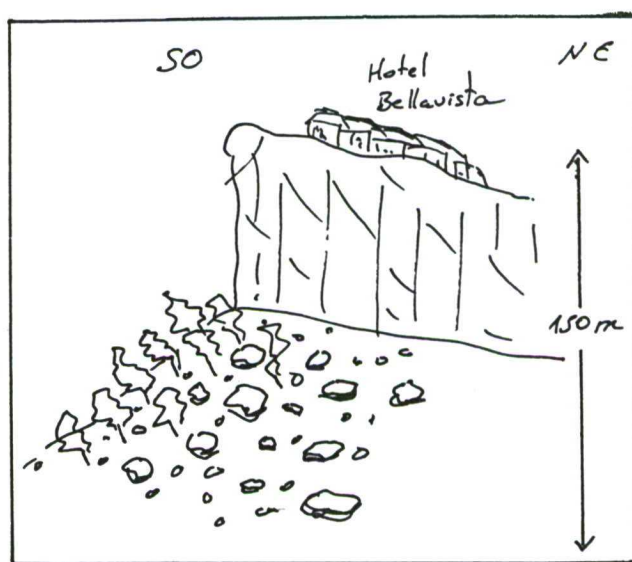
**Vegetación:** en el acantilado no, en los depósitos aluviales hay pinos muy inclinados hacia el talud

**Estado de alteración:** muy alterado

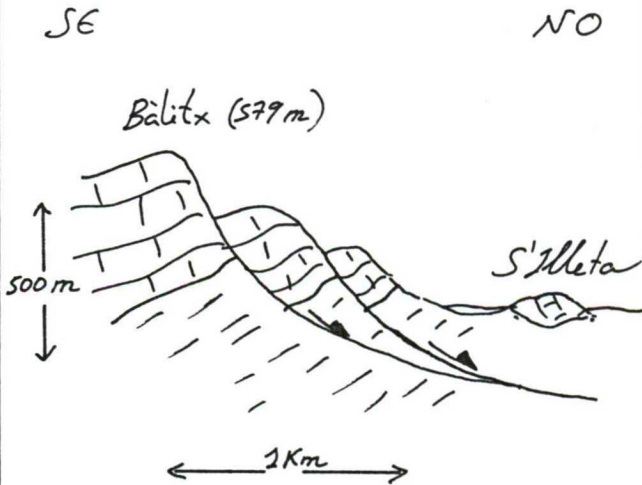
**Desencadenante:** lluvias y meteorización.

**Daños materiales y afecciones:** Hay una línea de apartahoteles en cabecera, que los han tenido que destruir y colocarlos mas hacia el interior del acantilado. Retroceso visible del acantilado en los últimos 20 años.

**Notas de interés:** Hay un informe geotécnico de Ingeniería de Sondeos S.L al respecto.

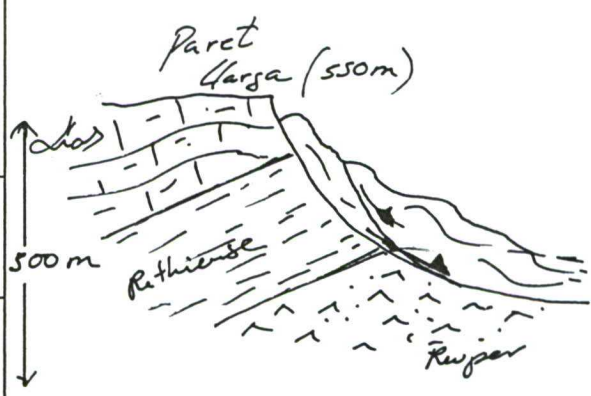


FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> Movimientos de ladera <b>Fecha de registro:</b> 21 /4/99		<b>REGISTRO N° 54</b> Fotos: diapositiva 1
<b>Paraje:</b> Puig de Bálitx. Entre Sóller y Sa Costera. <b>Municipio:</b> Sóller <b>n1 hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n1 hoja 1:25,000:</b> 670-II - Sóller <b>Coordenadas X:</b> 480,500 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4411,300		
<b>Tipo de movimiento:</b> Deslizamiento rotacional en rocas tipo slump <b>Fecha movimiento:</b> muy antiguo. ¿Principios del Cuaternario? <b>Activo (SI,NO, no se sabe):</b> parece que si, por la apertura de grietas		
<b>Litología:</b> Rocas carbonatadas del Lías. Macizo rocoso masivo. <b>Estructura:</b> No se observa estratificación. Macizo rocoso muy fracturado		
<b>Orientación del talud:</b> N45°E, abierto hacia el NW <b>Altura del talud:</b> 500 m. <b>Pendiente media del talud:</b> 45° <b>Superficie afectada:</b> 1,2 Km <sup>2</sup> <b>Volumen:</b> 200 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <b>Profundidad del plano:</b> 170m		
<b>Hidrogeología (Presencia de agua):</b> <b>Vegetación:</b> La masa movilizada está colonizada por un bosque de pinar. Existen aterrazamientos para cultivos de secano		
<b>Desencadenante:</b> ¿Terremoto?		
<b>Peligrosidad:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <span><u>ALTA</u></span> <span>MEDIA</span> <span>BAJA</span> </div>	<b>Riesgo:</b> Podría removilizarse repentinamente y crear una ola gigante- poco probable	
<b>Notas de interés y toma de muestras:</b> Se trata de un deslizamiento de grandes dimensiones, antiguo. Se observan enormes grietas de tracción en cabecera. Sería de gran interés monitorizar la apertura de estas grietas.	<b>Daños materiales y afecciones:</b> Deslizamiento muy antiguo. Existen algunas casas en la masa movilizada (Can Joan de Sa Dida).	



FICHA INVENTARIO MOVIMIENTOS DE LADERA Y TALUDES EN LA SERRA DE  
TRAMUNTANA

<b>PROCESOS:</b> Movimientos de ladera <b>Fecha de registro:</b> 22 /4/99		<b>REGISTRO N° 55</b> Fotos: diapositivas
<b>Paraje:</b> Sa Costera. Entre Cala Tuent y Punta de Cala Roja. <b>Municipio:</b> Escorca <b>n1 hoja 1:50,000:</b> 670 <b>n1 hoja 1:25,000:</b> 670-II- Sóller <b>Coordenadas X:</b> 483,900 <b>U.T.M. Coordenadas Y:</b> 4410,600		
<b>Tipo de movimiento:</b> Gran deslizamiento antiguo en roca tipo slump. <b>Fecha movimiento:</b> ¿Principios del Cuaternario? <b>Activo (SI,NO, no se sabe):</b> no se sabe		
<b>Litología:</b> Macizo carbonatado liásico. <b>Estructura:</b> No se observa estratificación. Macizo fracturado, se observan grandes planos de discontinuidad		
<b>Orientación del talud:</b> NN60°E, abierto hacia el NW <b>Altura del talud:</b> 550 m. <b>Pendiente media del talud:</b> 45° <b>Superficie afectada:</b> 3 Km <sup>2</sup> <b>Volumen:</b> 300 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <b>Profundidad del plano:</b> 100 m.	<div style="text-align: center;"> <span style="font-size: 1.5em;">SE</span> <span style="font-size: 1.5em; margin-left: 50px;">NO</span> </div> 	
<b>Vegetación:</b> La masa movilizada colonizada por bosque de pinar y matorral	<div style="text-align: center;"> <b>Riesgo:</b> Podría removilizarse repentinamente y crear una ola gigante- poco probable         </div>	
<b>Desencadenante:</b> ¿Terremoto a principios del Cuaternario?		
<b>Peligrosidad:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <span><u>ALTA</u></span> <span>MEDIA</span> <span>BAJA</span> </div>	<b>Daños materiales y afecciones:</b>	
<b>Notas de interés y toma de muestras:</b> : Se trata de un deslizamiento de grandes dimensiones, antiguo.		

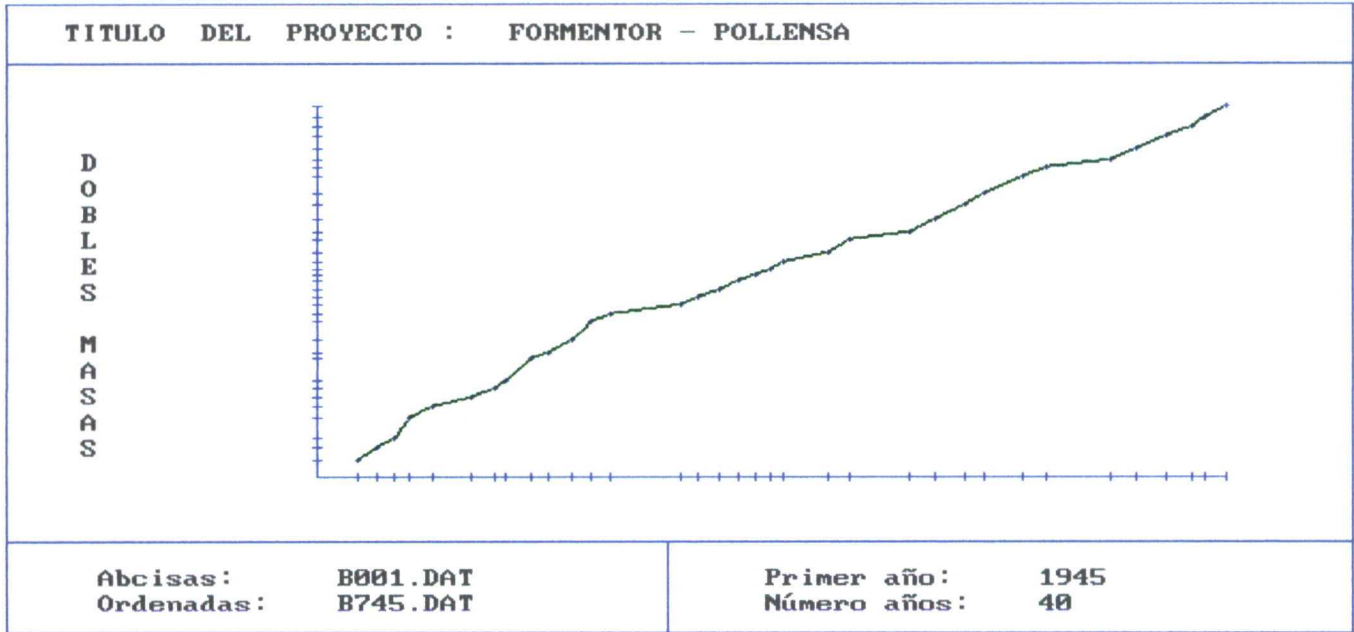
## **ANEXO II**

### **ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES INTENSAS**



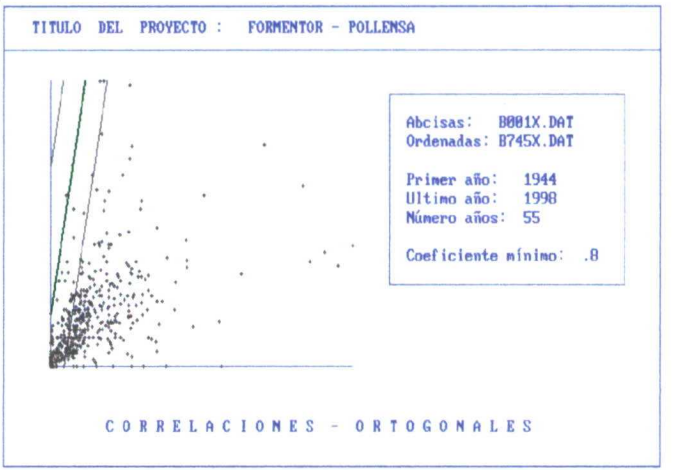
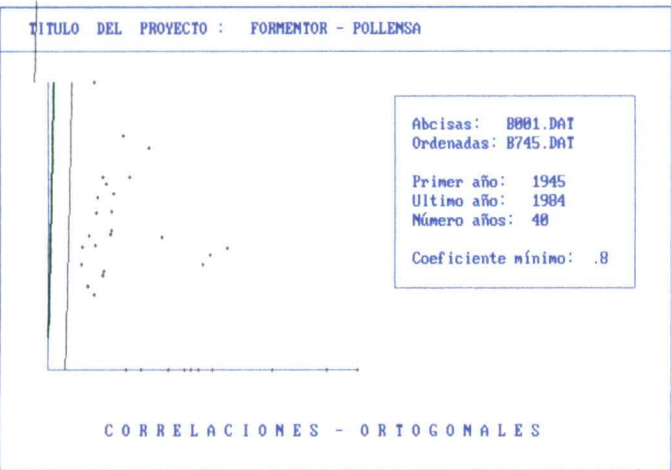
# ESTACIÓN B001 FORMENTOR

HOMOGENEIZACIÓN DE DATOS: Comparación con la estación B745 POLLENÇA CAN SERRA



## CORRELACIÓN DE DATOS ANUAL

## CORRELACIÓN DE DATOS MENSUAL



### PARAMETROS CALCULADOS

MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = -.028  
RECTA DE CORRELACION  $Y = \text{*****} + (-34.893 \times X)$   
COEFICIENTE DE CORRELACION FUERA DE TOLERANCIA  
\*\*\*\*\* 3 PUNTOS FUERA DE TOLERANCIA

DATOS UTILIZADOS 26      ITERACION 5  
PARAMETROS CALCULADOS

MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .334  
RECTA DE CORRELACION  $Y = \text{*****} + (16.524 \times X)$   
COEFICIENTE DE CORRELACION FUERA DE TOLERANCIA  
TODOS LOS PUNTOS DENTRO DE LAS BANDAS DE GARANTIA

### PARAMETROS CALCULADOS

MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .437  
RECTA DE CORRELACION  $Y = -26.988 + (3.411 \times X)$   
COEFICIENTE DE CORRELACION FUERA DE TOLERANCIA  
\*\*\*\*\* 24 PUNTOS FUERA DE TOLERANCIA

DATOS UTILIZADOS 353      ITERACION 17  
PARAMETROS CALCULADOS

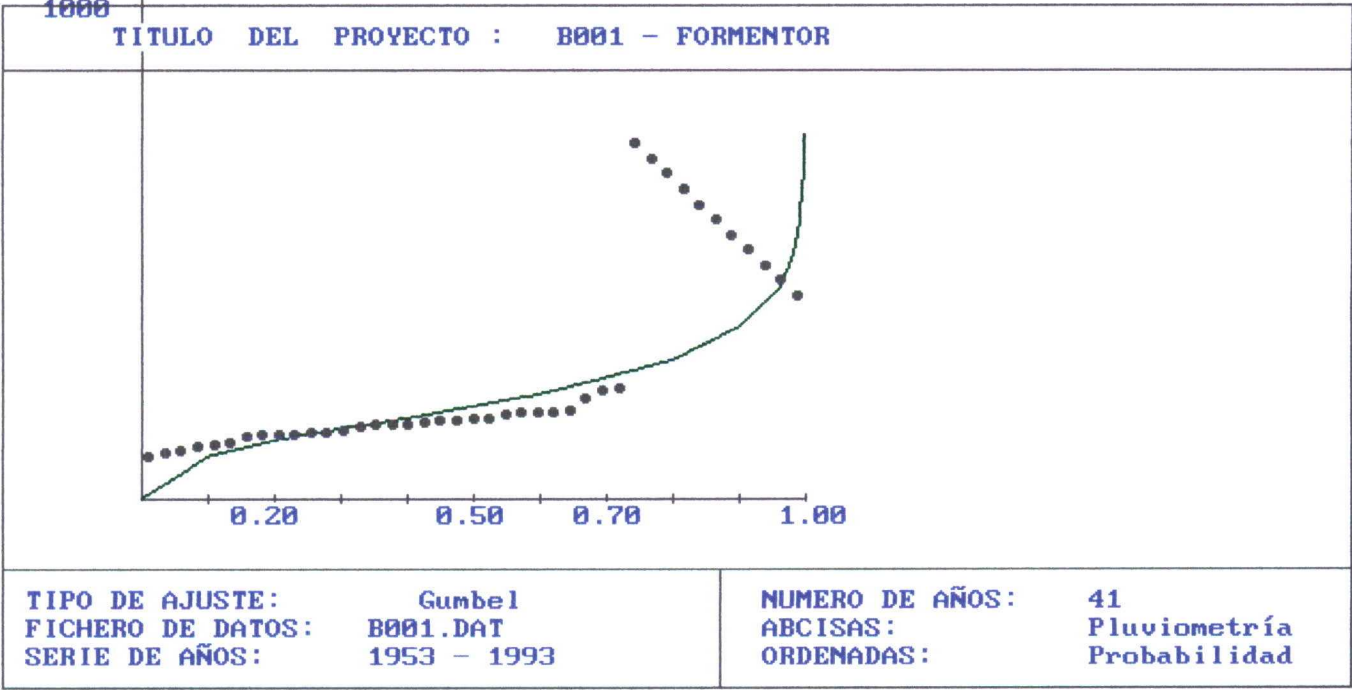
MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .798  
RECTA DE CORRELACION  $Y = -23.636 + (4.966 \times X)$   
COEFICIENTE DE CORRELACION FUERA DE TOLERANCIA  
TODOS LOS PUNTOS DENTRO DE LAS BANDAS DE GARANTIA

RESTITUCIÓN DE DATOS: Los datos mensuales ausentes en la estación B001 FORMENTOR se han restituido con la estación B745 POLLENÇA CAN SERRA.

La ecuación de la recta de regresión es:  $Y = -23.636 + (4.966 * X)$

siendo X = B001      Y = B745

DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL. PERÍODOS DE RETORNO



VALOR MEDIO = 53.629270  
DESVIACION TIPICA = 28.535710  
COEFICIENTE DE VARIACION (media/desv. tipica) = 1.879374

VALORES DE LA FUNCION DE GUMBEL

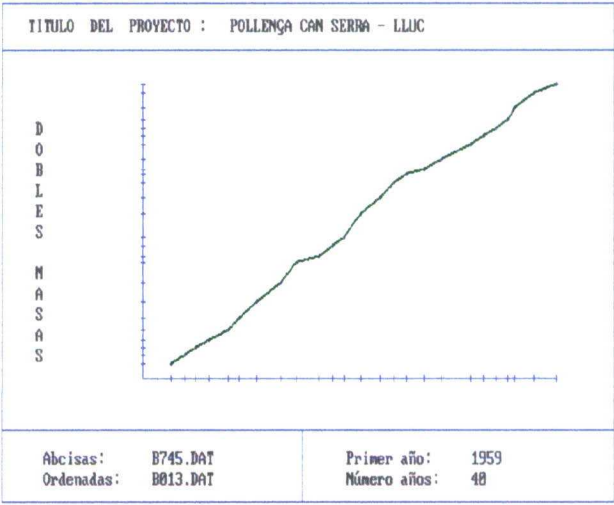
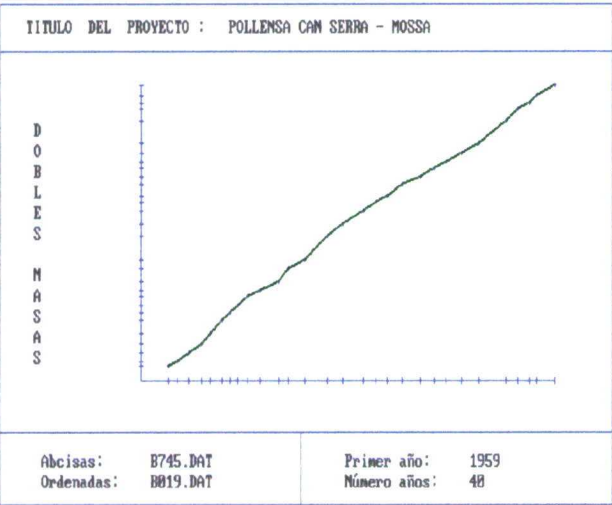
Probabilidad	Pluviometria	PERIODOS DE RETORNO Y PROBABILIDADES	
.100	22.2	Periodo retorno	Probabilidad
.200	30.2	5	.800
.300	36.7	10	.900
.400	42.7	25	.960
.500	48.9	50	.980
.600	55.7	100	.990
.700	63.7	150	.993
.800	74.2	175	.994
.900	90.9		
.960	112.0		
.980	127.6		
.990	143.2		
.998	179.0		
.999	194.5		

BONDAD DEL AJUSTE                      CHI-DOS = 72.6213200000                      CHI-DOSc = 66.8  
con 39 grados de libertad



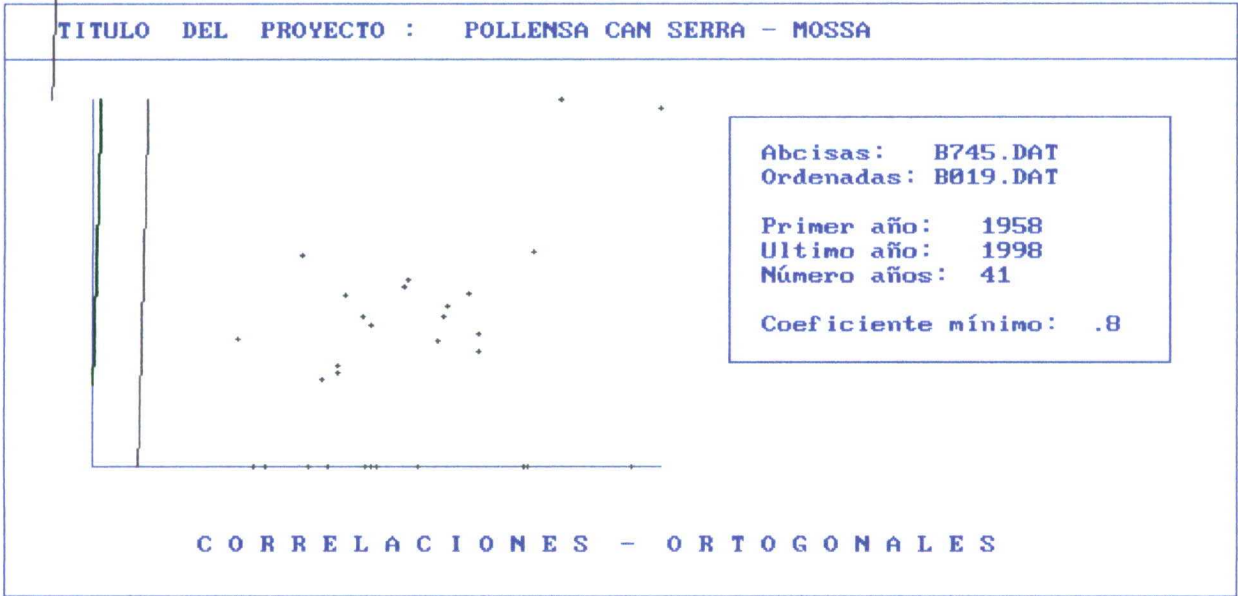
ESTACIÓN B745 POLLEÇA CAN SERRA

HOMOGENEIZACIÓN DE DATOS: Comparación con B001 FORMENTOR, B019 MOSSA y B013 LLUC



CORRELACIÓN DE DATOS ANUAL: Comparación con B001 - B019 - B013

Síntesis correlación	B745 - B001	RO = -0.028	
	B745 - B019	RO = 0.661	POLENÇA CAN SERRA - MOSSA
	B745 - B013	RO = 0.333	



DATOS UTILIZADOS 29      ITERACION 1  
PARAMETROS CALCULADOS

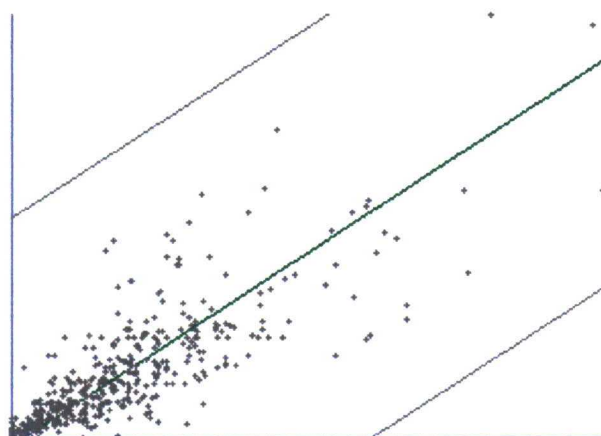
MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .661  
RECTA DE CORRELACION  $Y = -30.754 + (1.369 \cdot X)$   
COEFICIENTE DE CORRELACION FUERA DE TOLERANCIA  
\*\*\*\*\* 1 PUNTOS FUERA DE TOLERANCIA

DATOS UTILIZADOS 27      ITERACION 3  
PARAMETROS CALCULADOS

MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .717  
RECTA DE CORRELACION  $Y = -45.905 + (1.583 \cdot X)$   
COEF. DE CORREL. FUERA DE TOLERANCIA  
TODOS LOS PUNTOS DENTRO DE LAS BANDAS DE GARANTÍA

## CORRELACIÓN DE DATOS MENSUAL: Comparación con B019

TITULO DEL PROYECTO : POLLENSA CAN SERRA - MOSSA



Abcisas: B745X.DAT

Ordenadas: B019X.DAT

Primer año: 1958

Ultimo año: 1998

Número años: 41

Coefficiente mínimo: .8

CORRELACIONES - ORTOGONALES

NUMEROS DE DATOS TRATADOS = 472

ITERACIÓN 1

PARAMETROS CALCULADOS

X MEDIA = 34.537 Y MEDIA = 35.227

SIGMA DOS X = 959.951 SIGMA DOS Y = 1231.655

SIGMA XY = 895.641

LANDA 1 = 189.917 LANDA 2= \*\*\*\*\*

MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800

COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .824

RECTA DE CORRELACION  $Y = -4.943 + (1.163 * X)$

DESVIACION TIPICA = 13.781

COEFICIENTE DE CORRELACION DENTRO DE TOLERANCIA

RESTITUCIÓN DE DATOS: Los datos mensuales ausentes en la estación B745 POLLENSA CAN SERRA se han restituido con la estación B019 MOSSA.

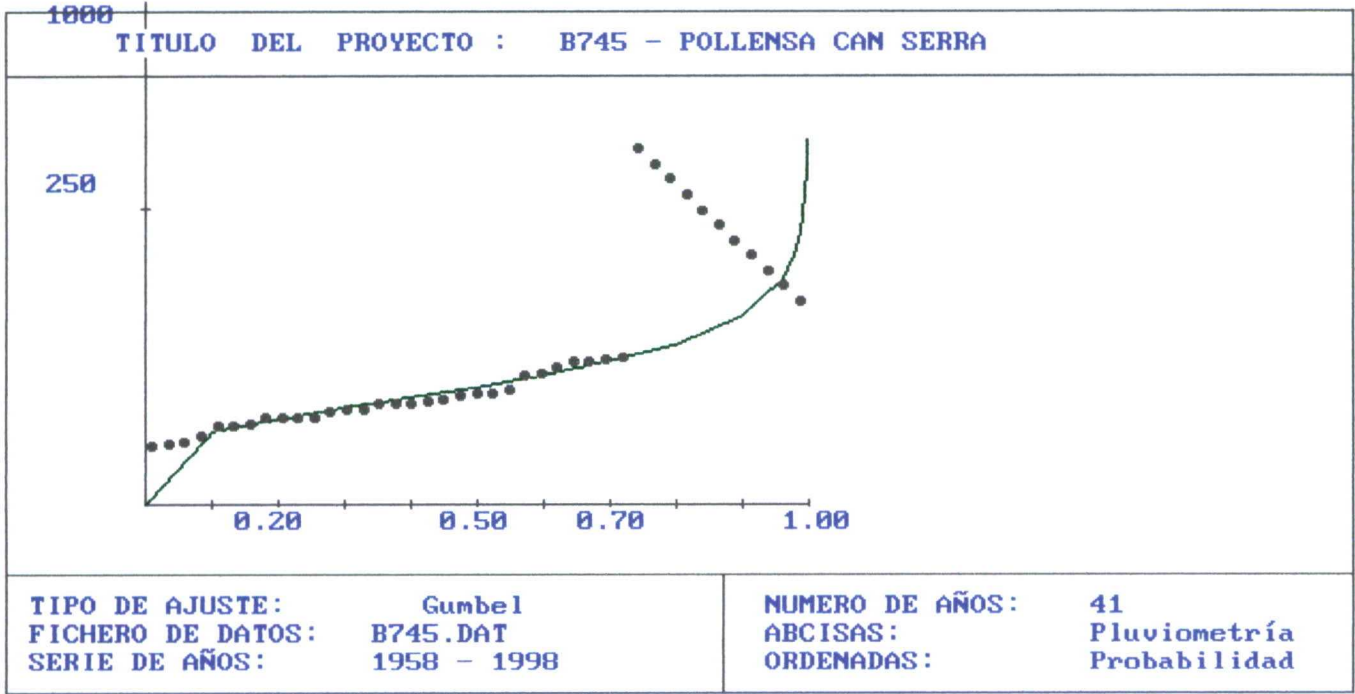
La ecuación de la recta de regresión es:  $Y = -4.943 + (1.163 * X)$

siendo X = B745 POLLENSA CAN SERRA

Y = B019 MOSSA



DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL. PERÍODOS DE RETORNO



VALOR MEDIO = 105.524400  
DESVIACION TIPICA = 41.089800  
COEFICIENTE DE VARIACION (media/desv. tipica) = 2.568141

VALORES DE LA FUNCION DE GUMBEL

Probabilidad	Pluviometria
.100	60.3
.200	71.8
.300	81.1
.400	89.8
.500	98.8
.600	108.6
.700	120.1
.800	135.1
.900	159.1
.960	189.5
.980	212.0
.990	234.4
.998	286.1
.999	308.3

PERIODOS DE RETORNO Y PROBABILIDADES

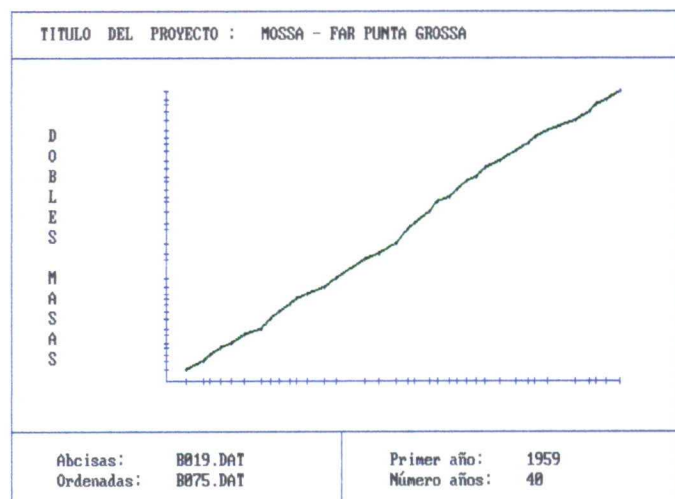
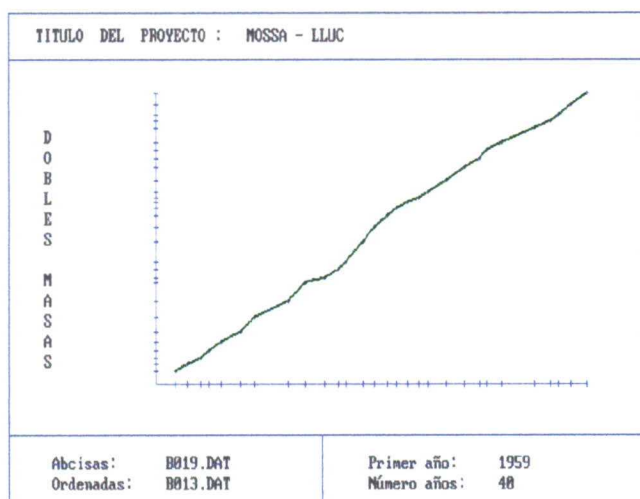
Periodo retorno	Probabilidad
5	.800
10	.900
25	.960
50	.980
100	.990
150	.993
175	.994

BONDAD DEL AJUSTE                      CHI-DOS = 11.0801000000                      CHI-DOSc = 20.7  
con 39 grados de libertad

CHI-DOS< CHI-DOSc  
Buen ajuste de la distribución con un  
nivel de confianza del 99.5%

## ESTACIÓN B019 MOSSA

HOMOGENEIZACIÓN DE DATOS: Comparación con B745 POLLENÇA CAN SERRA, B013 LLUC y B075 FAR PUNTA GROSSA



CORRELACIÓN DE DATOS ANUAL: Comparación con B745 - B013 - B075

Síntesis correlación      B019 - B745   **RO = 0.661**   MOSSA - POLLENÇA CAN SERRA  
                                 B019 - B013   RO = 0.517  
                                 B019 - B075   RO = 0.581

La mejor correlación de esta estación se presenta con la estación B745 POLLENÇA CAN SERRA. La gráfica y los cálculos se han mostrado en la estación anterior B745.

CORRELACIÓN DE DATOS MENSUAL: Comparación con B745 - B013 - B075

Síntesis correlación      B019 - B745   **RO = 0.824**   MOSSA - POLLENÇA CAN SERRA  
                                 B019 - B013   RO = 0.816  
                                 B019 - B075   RO = 0.694

La correlación de B019 MOSSA es ligeramente superior con la estación B745 POLLENÇA CAN SERRA. La gráfica y los cálculos se han presentado en la estación anterior.

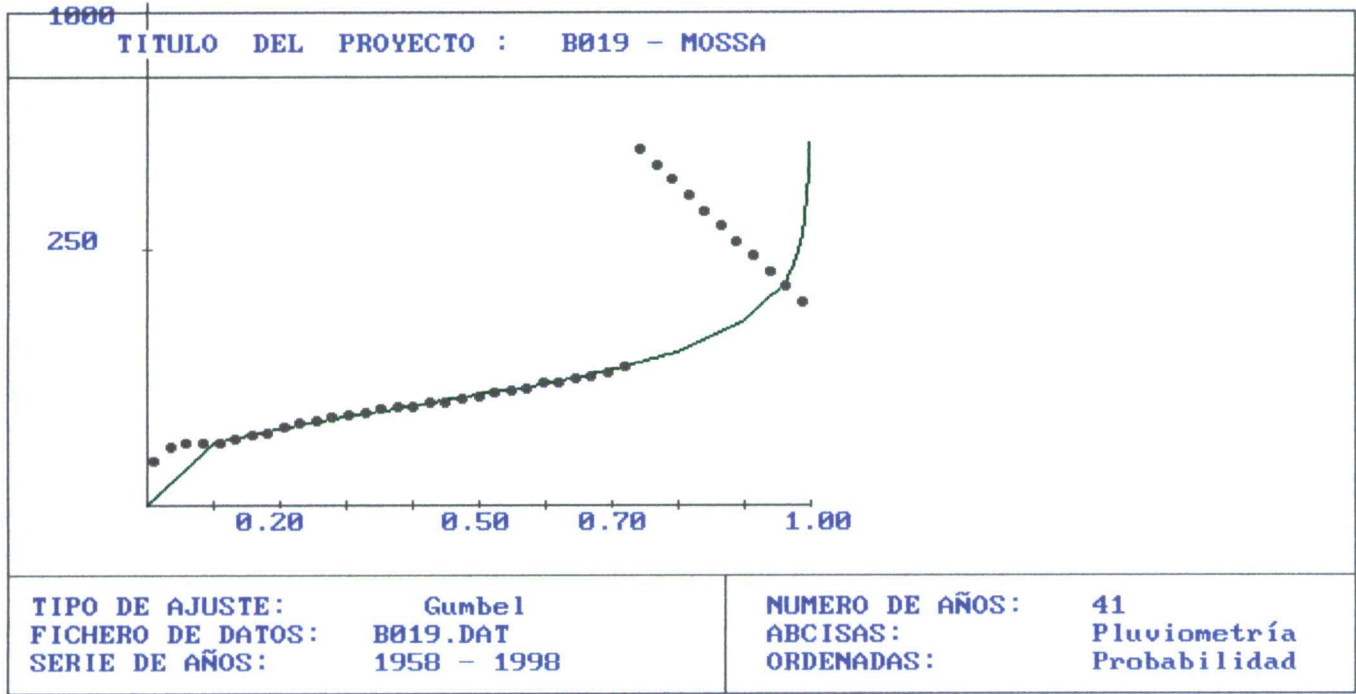
RESTITUCIÓN DE DATOS: Los datos mensuales ausentes en la estación B019 MOSSA se ha restituido con la estación B745 POLLENÇA CAN SERRA.

La ecuación de la recta de regresión es:  $Y = -4.943 + (1.163 * X)$

siendo X = B745 POLLENÇA CAN SERRA  
Y = B019 MOSSA



DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL. PERÍODOS DE RETORNO



VALOR MEDIO = 114.714600  
DESVIACION TIPICA = 48.689380  
COEFICIENTE DE VARIACION (media/desv. tipica) = 2.356050

VALORES DE LA FUNCION DE GUMBEL

Probabilidad	Pluviometria
.100	61.1
.200	74.7
.300	85.8
.400	96.1
.500	106.7
.600	118.3
.700	131.9
.800	149.7
.900	178.2
.960	214.2
.980	240.9
.990	267.5
.998	328.7
.999	355.0

PERIODOS DE RETORNO Y PROBABILIDADES

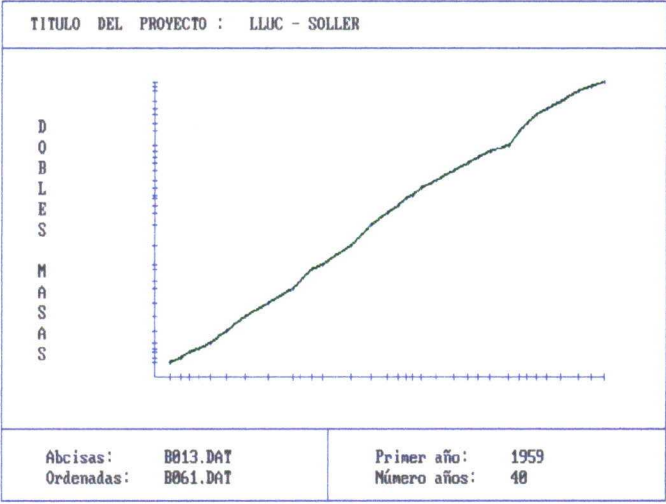
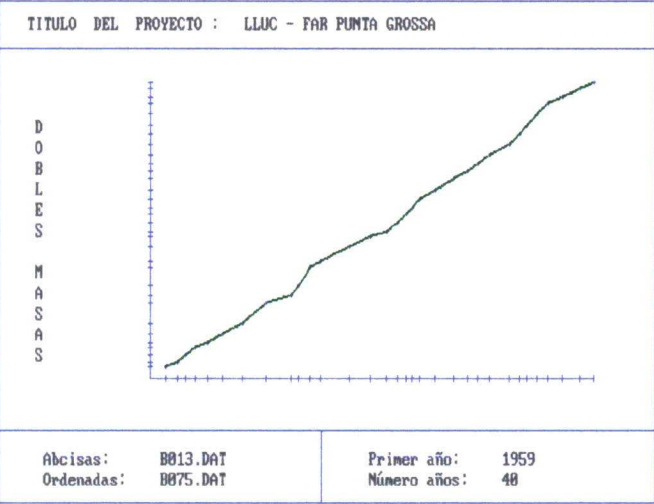
Periodo retorno	Probabilidad
5	.800
10	.900
25	.960
50	.980
100	.990
150	.993
175	.994

BONDAD DEL AJUSTE                      CHI-DOS = 19.5897500000                      CHI-DOS c = 22.2  
con 39 grados de libertad

CHI-DOS < CHI-DOS c  
Buen ajuste de la distribución con un  
nivel de confianza del 99%

ESTACIÓN B013 LLUC

HOMOGENEIZACIÓN DE DATOS: Comparación con B745 POLLENÇA CAN SERRA, B019 MOSSA, B075 FAR PUNTA GROSSA y B061 SÓLLER

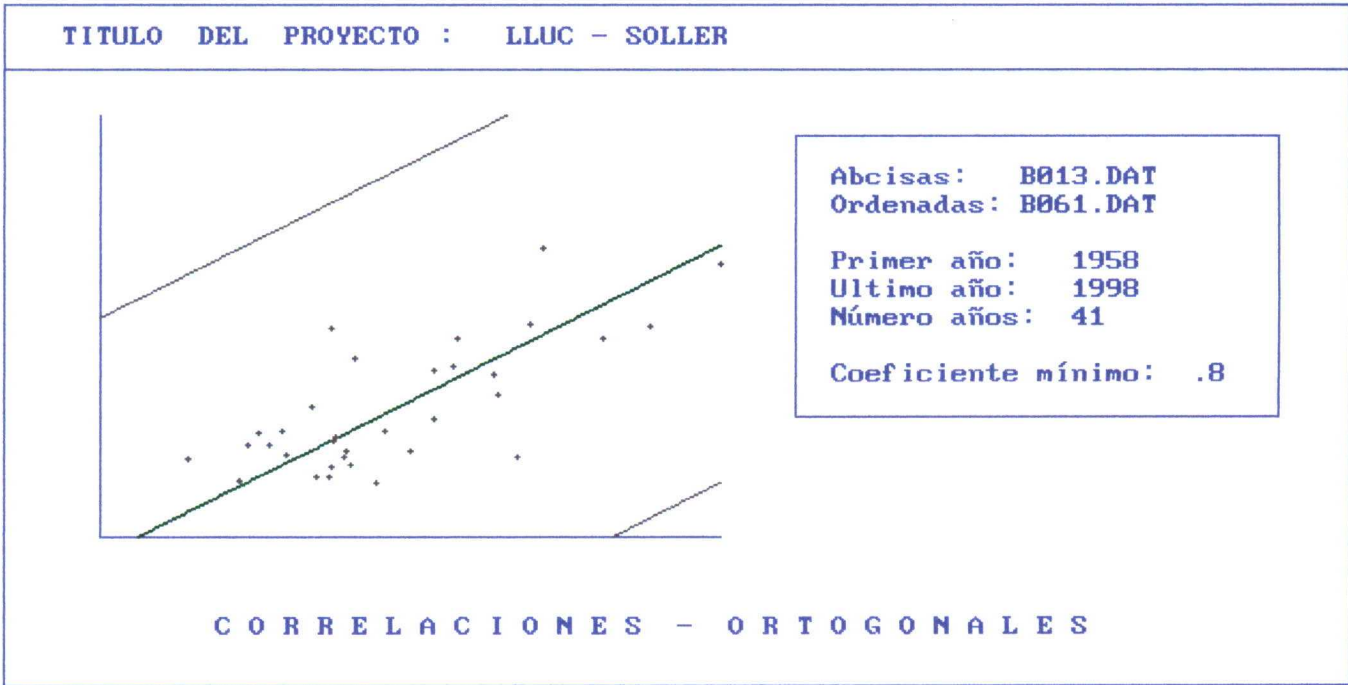


CORRELACIÓN DE DATOS ANUAL: Comparación con B745 - B019 - B075 - B061

Síntesis correlación

B013 - B745	RO = 0.333
B013 - B019	RO = 0.517
B013 - B075	RO = 0.390
B013 - B061	RO = 0.735

LLUC - SÓLLER



DATOS UTILIZADOS 33      ITERACION 1

PARAMETROS CALCULADOS

MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .735  
RECTA DE CORRELACION  $Y = -16.702 + (.946 \cdot X)$   
COEFICIENTE DE CORRELACION FUERA DE TOLERANCIA  
\*\*\*\*\* 2 PUNTOS FUERA DE TOLERANCIA

DATOS UTILIZADOS 31      ITERACION 2

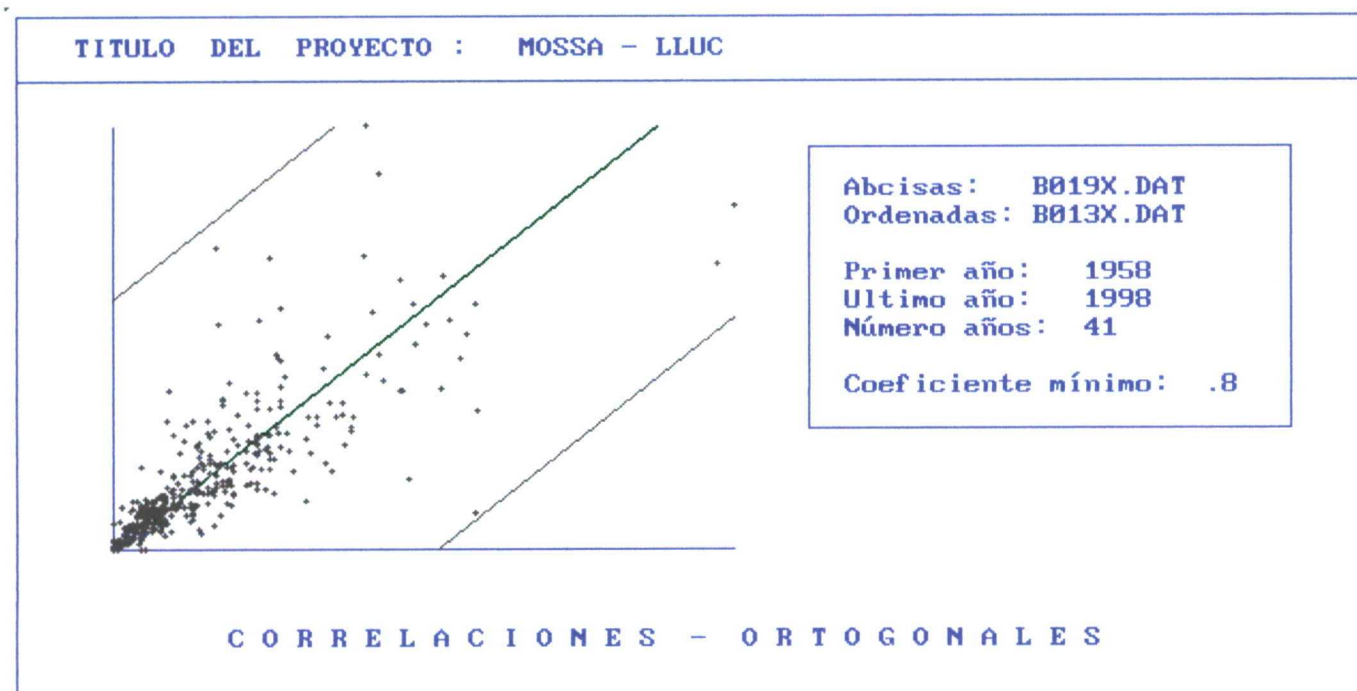
PARAMETROS CALCULADOS

MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .822  
RECTA DE CORRELACION  $Y = -15.361 + (.935 \cdot X)$   
COEFICIENTE DE CORRELACION DENTRO DE TOLERANCIA



## CORRELACIÓN DE DATOS MENSUAL: Comparación con B019 - B061

Síntesis correlación      B013 - B019   **RO = 0.816**   LLUC - MOSSA  
B013 - B061   RO = 0.789



NUMEROS DE DATOS TRATADOS =    424                    ITERACIÓN 1  
PARAMETROS CALCULADOS

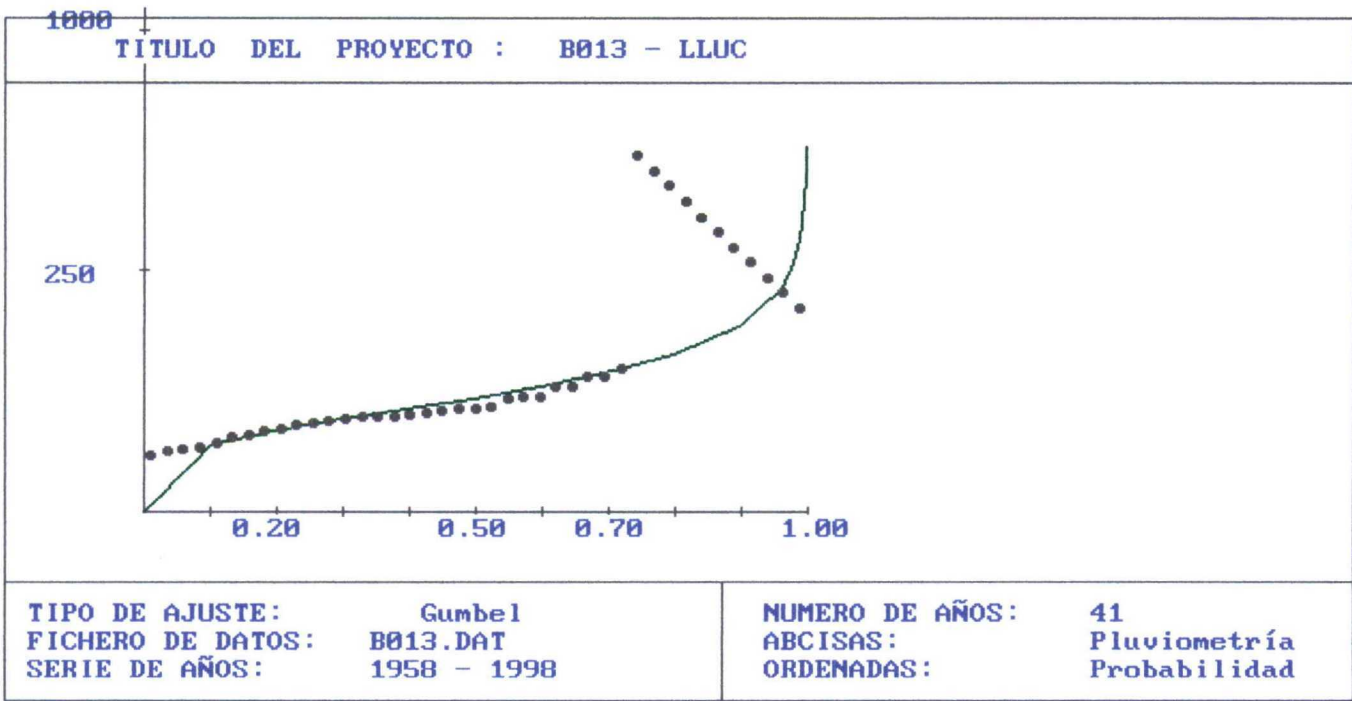
-----  
X MEDIA =   35.753      Y MEDIA =   39.920  
SIGMA DOS X = 1237.633    SIGMA DOS Y = 1563.884  
SIGMA XY = 1135.289  
LANDA 1 = 253.810      LANDA 2= \*\*\*\*\*  
MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE =   .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO =   .816  
RECTA DE CORRELACION Y= -1.337+( 1.154\*X)  
DESVIACION TIPICA =   15.931  
COEFICIENTE DE CORRELACION DENTRO DE TOLERANCIA

RESTITUCIÓN DE DATOS: Los datos mensuales ausentes en la estación B013 LLUC, se han restituido con la estación B019 MOSSA .

La ecuación de la recta de regresión es:  $Y = -1.337 + (1.154 \cdot X)$

siendo X = B019 MOSSA  
Y = B013 LLUC

DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL. PERÍODOS DE RETORNO



VALOR MEDIO = 125.541500  
DESVIACION TIPICA = 51.244610  
COEFICIENTE DE VARIACION (media/desv. tipica) = 2.449847

VALORES DE LA FUNCION DE GUMBEL

Probabilidad	Pluviometria
.100	69.2
.200	83.5
.300	95.1
.400	106.0
.500	117.1
.600	129.3
.700	143.7
.800	162.4
.900	192.4
.960	230.3
.980	258.4
.990	286.3
.998	350.7
.999	378.5

PERIODOS DE RETORNO Y PROBABILIDADES

Periodo retorno	Probabilidad
5	.800
10	.900
25	.960
50	.980
100	.990
150	.993
175	.994

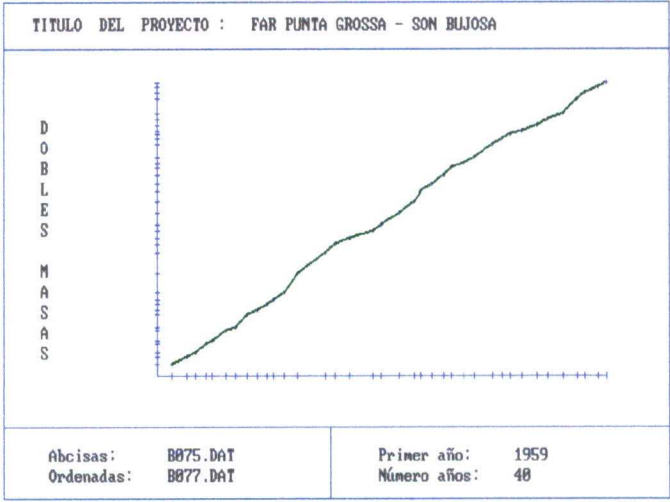
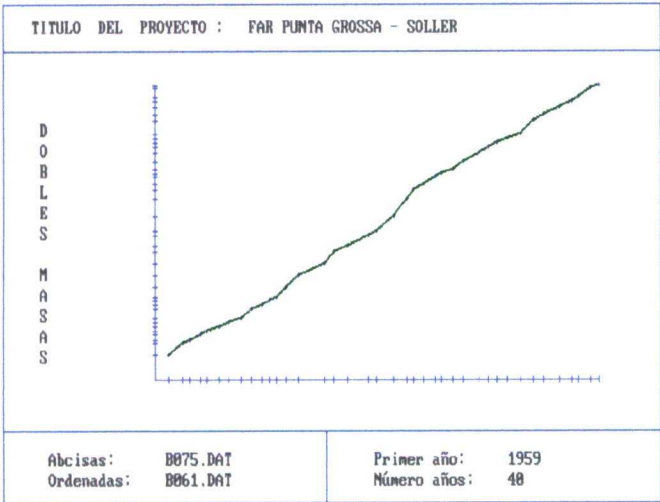
BONDAD DEL AJUSTE. CHI-DOS = 21.2525300000 CHI-DOSc = 22.2  
con 39 grados de libertad

CHI-DOS < CHI-DOSc  
Buen ajuste de la distribución con un nivel de confianza del 99%



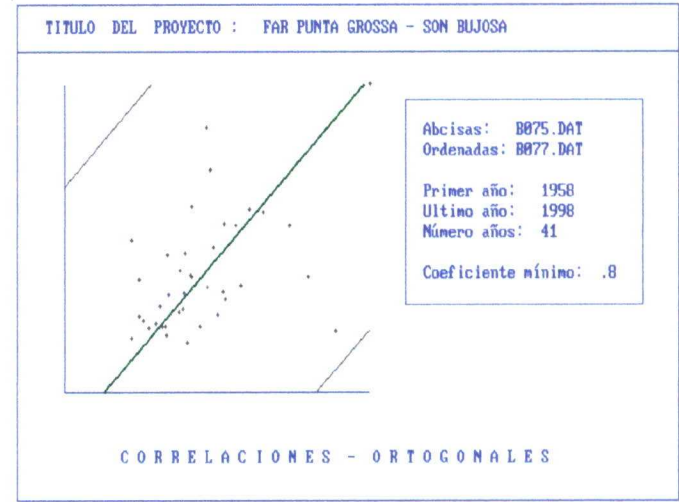
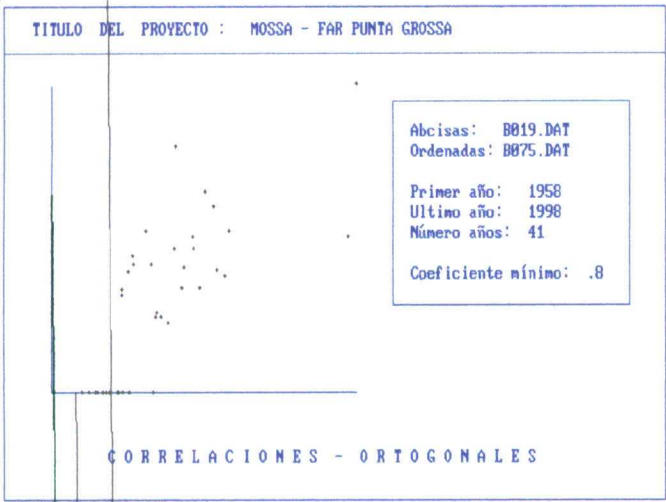
ESTACIÓN B075 FAR PUNTA GROSSA

HOMOGENEIZACIÓN DE DATOS: Comparación con B019 MOSSA, B013 LLUC, B061 SÓLLER y B077 SON BUJOSA



CORRELACIÓN DE DATOS ANUAL: Comparación con B019 - B013 - B061 - B077

Síntesis correlación	B075 - B019	RO = 0.581	FAR PUNTA GROSSA - MOSSA
	B075 - B013	RO = 0.390	
	B075 - B061	RO = 0.418	
	B075 - B077	RO = 0.493	FAR PUNTA GROSSA - SON BUJOSA



DATOS UTILIZADOS 33      ITERACION 4

PARAMETROS CALCULADOS

MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800

COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .455

RECTA DE CORRELACION  $Y = 31.482 + (.143 \cdot X)$

COEFICIENTE DE CORRELACION FUERA DE TOLERANCIA

TODOS LOS PUNTOS DENTRO DE LAS BANDAS DE GARANTIA

DATOS UTILIZADOS 33      ITERACION 5

PARAMETROS CALCULADOS

MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800

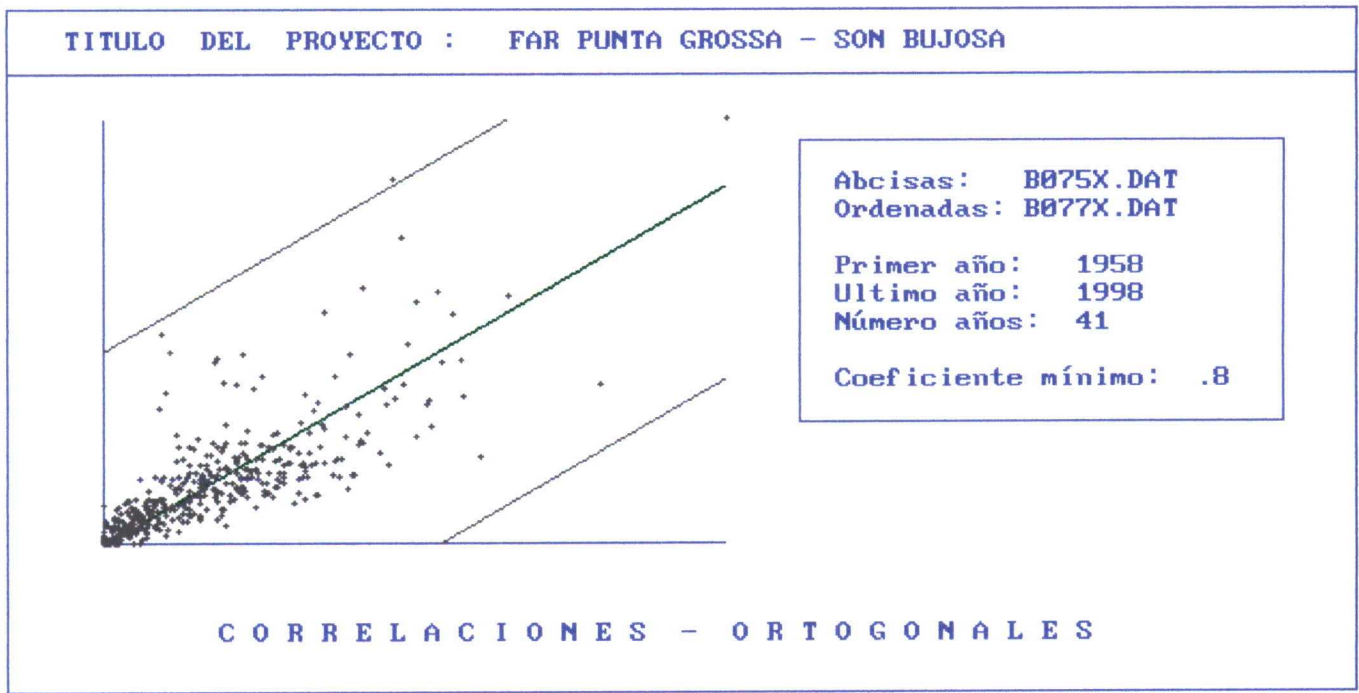
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .823

RECTA DE CORRELACION  $Y = -30.145 + (1.940 \cdot X)$

COEFICIENTE DE CORRELACION DENTRO DE TOLERANCIA

CORRELACIÓN DE DATOS MENSUAL: Comparación con B019 - B061 - B077

Síntesis correlación            B075 - B019   RO = 0.694  
                                     B075 - B061   RO = 0.647  
                                     B075 - B077   RO = 0.799   FAR PUNTA GROSSA - SON BUJOSA



DATOS UTILIZADOS 464            ITERACION 1  
PARAMETROS CALCULADOS

---

X MEDIA = 18.303    Y MEDIA = 24.451  
SIGMA DOS X = 287.931    SIGMA DOS Y = 604.495  
SIGMA XY = 333.455  
LANDA 1 = 77.098    LANDA 2= 815.327  
MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .799  
RECTA DE CORRELACION Y= -4.497+( 1.582\*X)  
DESVIACION TIPICA = 8.781  
COEFICIENTE DE CORRELACION FUERA DE TOLERANCIA

\*\*\*\*\* 30 PUNTOS FUERA DE TOLERANCIA

DATOS UTILIZADOS 434            ITERACION 2  
PARAMETROS CALCULADOS

---

X MEDIA = 16.713    Y MEDIA = 21.777  
SIGMA DOS X = 242.787    SIGMA DOS Y = 444.442  
SIGMA XY = 295.293  
LANDA 1 = 31.583    LANDA 2= 655.647  
MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .899  
RECTA DE CORRELACION Y= -1.590+( 1.398\*X)  
DESVIACION TIPICA = 5.620  
COEFICIENTE DE CORRELACION DENTRO DE TOLERANCIA

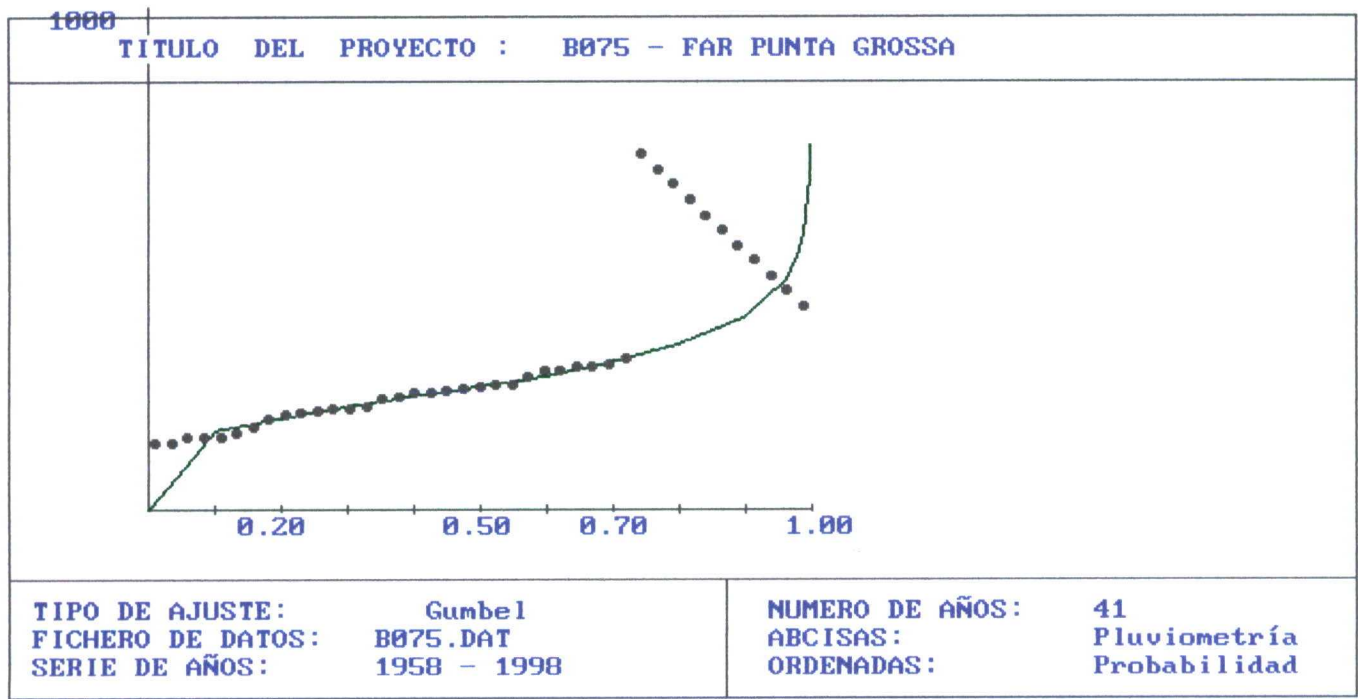
RESTITUCIÓN DE DATOS: los datos mensuales ausentes en la estación B075 FAR PUNTA GROSSA,  
se han restituido con la estación B077 SON BUJOSA

La ecuación de la recta de regresión es:  $Y = -1.590 + (1.398 \cdot X)$

siendo X = B075 FAR PUNTA GROSSA  
Y = B077 SON BUJOSA



DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL. PERÍODOS DE RETORNO



VALOR MEDIO = 51.351220  
DESVIACION TIPICA = 18.841720  
COEFICIENTE DE VARIACION (media/desv. tipica) = 2.725400

VALORES DE LA FUNCION DE GUMBEL

Probabilidad	Pluviometria
.100	30.6
.200	35.9
.300	40.1
.400	44.2
.500	48.3
.600	52.7
.700	58.0
.800	64.9
.900	75.9
.960	89.9
.980	100.2
.990	110.5
.998	134.2
.999	144.4

PERIODOS DE RETORNO Y PROBABILIDADES

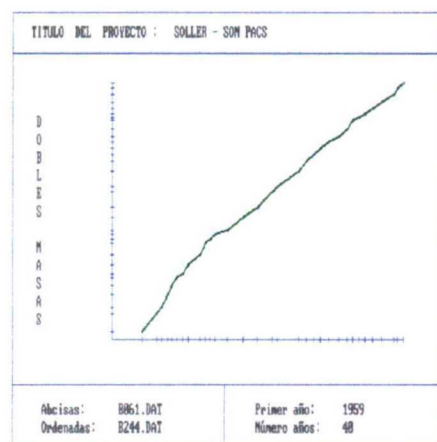
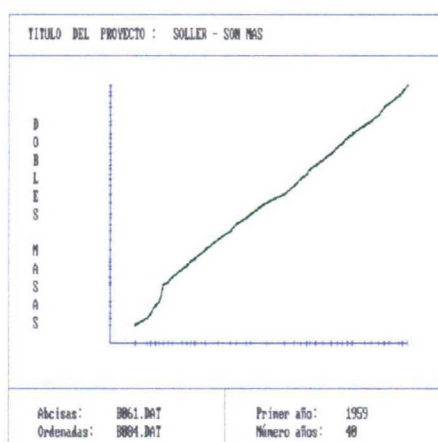
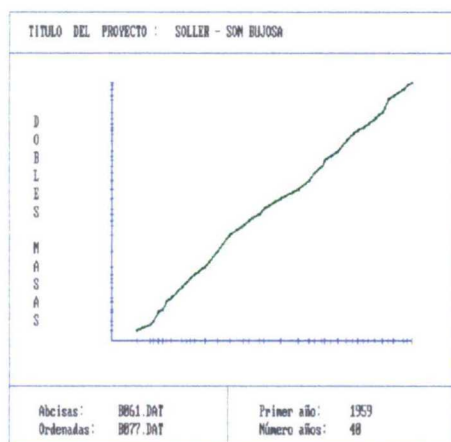
Periodo retorno	Probabilidad
5	.800
10	.900
25	.960
50	.980
100	.990
150	.993
175	.994

BONDAD DEL AJUSTE                      CHI-DOS = 4.2599710000                      CHI-DOSc = 20.7  
con 39 grados de libertad

CHI-DOS < CHI-DOSc  
Buen ajuste de la distribución con  
un nivel de confianza del 99.5%

## ESTACIÓN B061 SÓLLER

**HOMOGENEIZACIÓN DE DATOS:** Comparación con las estaciones B013 LLUC, B075 FAR PUNTA GROSSA B077 SON BUJOSA, B084 SON MAS y B244 SON PACS



**CORRELACIÓN DE DATOS ANUAL:** Comparación con B013 - B075 - B077 - B084 - B244

Síntesis correlación

B061 - B013	RO = 0.735	SÓLLER - LLUC
B061 - B075	RO = 0.418	
B061 - B077	RO = 0.519	
B061 - B084	RO = 0.616	
B061 - B244	RO = 0.417	

La mejor correlación de B061 SÓLLER se presenta con la estación B013 LLUC. La gráfica y los cálculos se han mostrado anteriormente en la estación B013.

**CORRELACIÓN DE DATOS MENSUAL:** Comparación con B013 - B075 - B077 - B084 - B244

Síntesis correlación

B061 - B013	RO = 0.789	SÓLLER - LLUC
B061 - B075	RO = 0.647	
B061 - B077	RO = 0.751	
B061 - B084	RO = 0.769	SÓLLER - SON MAS
B061 - B244	RO = 0.754	

La mejor correlación de B061 SÓLLER se presenta con la estación B013 LLUC. La gráfica y los cálculos se han presentado anteriormente en la estación B013.

**RESTITUCION DE DATOS:** Los datos mensuales ausentes en la estación de B061 SÓLLER, se han restituido con la estación B013 LLUC y con la estación B084 SON MAS en los meses ausentes también en B013 LLUC.

La ecuación de la recta de regresión es:  $Y = -0.565 + (0.772 \cdot X)$

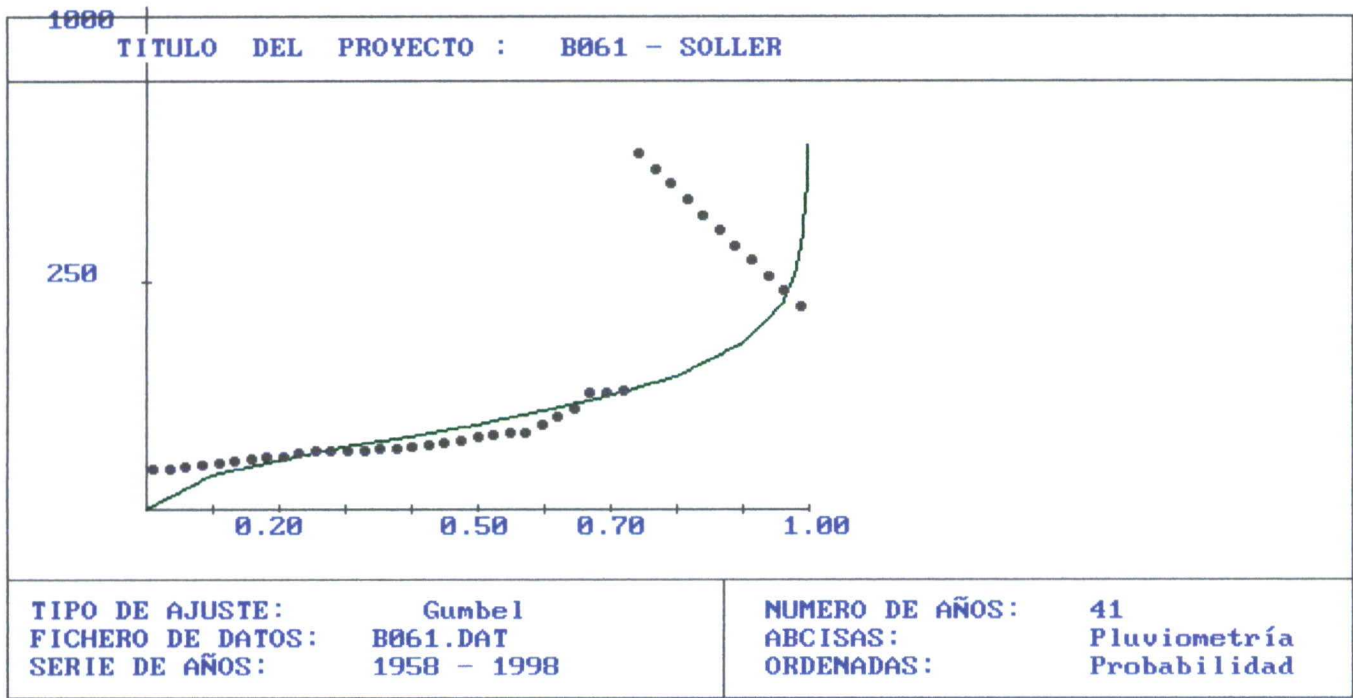
siendo  $X = B013$   
 $Y = B061$

La ecuación de la recta de regresión es:  $Y = 2.187 + (0.762 \cdot X)$

siendo  $X = B061$   
 $Y = B084$



DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL. PERÍODOS DE RETORNO



VALOR MEDIO = 102.517100  
DESVIACION TIPICA = 60.139260  
COEFICIENTE DE VARIACION (media/desv. tipica) = 1.704661

VALORES DE LA FUNCION DE GUMBEL

Probabilidad	Pluviometria
.100	36.3
.200	53.1
.300	66.7
.400	79.6
.500	92.6
.600	106.9
.700	123.8
.800	145.8
.900	181.0
.960	225.4
.980	258.4
.990	291.2
.998	366.8
.999	399.4

PERIODOS DE RETORNO Y PROBABILIDADES

Periodo retorno	Probabilidad
5	.800
10	.900
25	.960
50	.980
100	.990
150	.993
175	.994

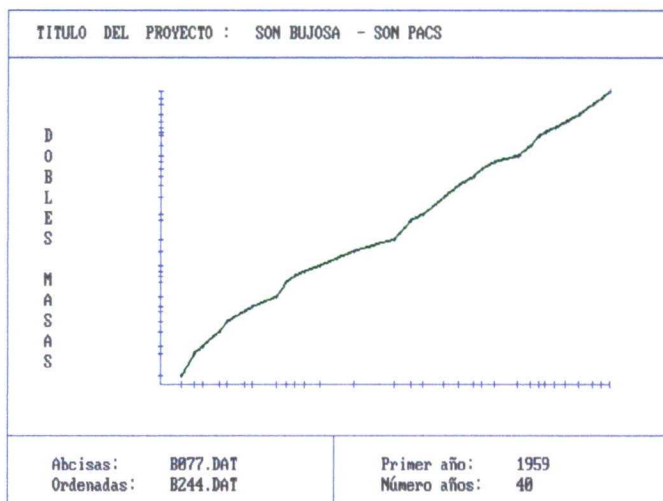
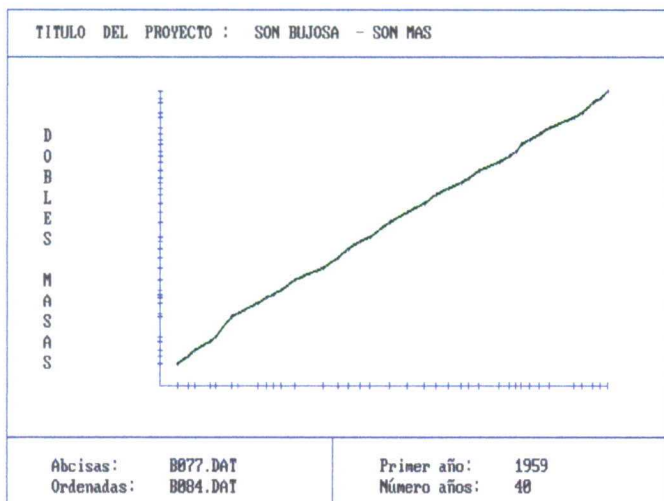
BONDAD DEL AJUSTE

CHI-DOS = 316.3104000000      CHI-DOSc = 66.8  
con 39 grados de libertad

CHI-DOS >>> CHI-DOSc  
Pésimo ajuste de la distribución incluso  
con este nivel de confianza del 0.5%

## ESTACIÓN B077 SON BUJOSA

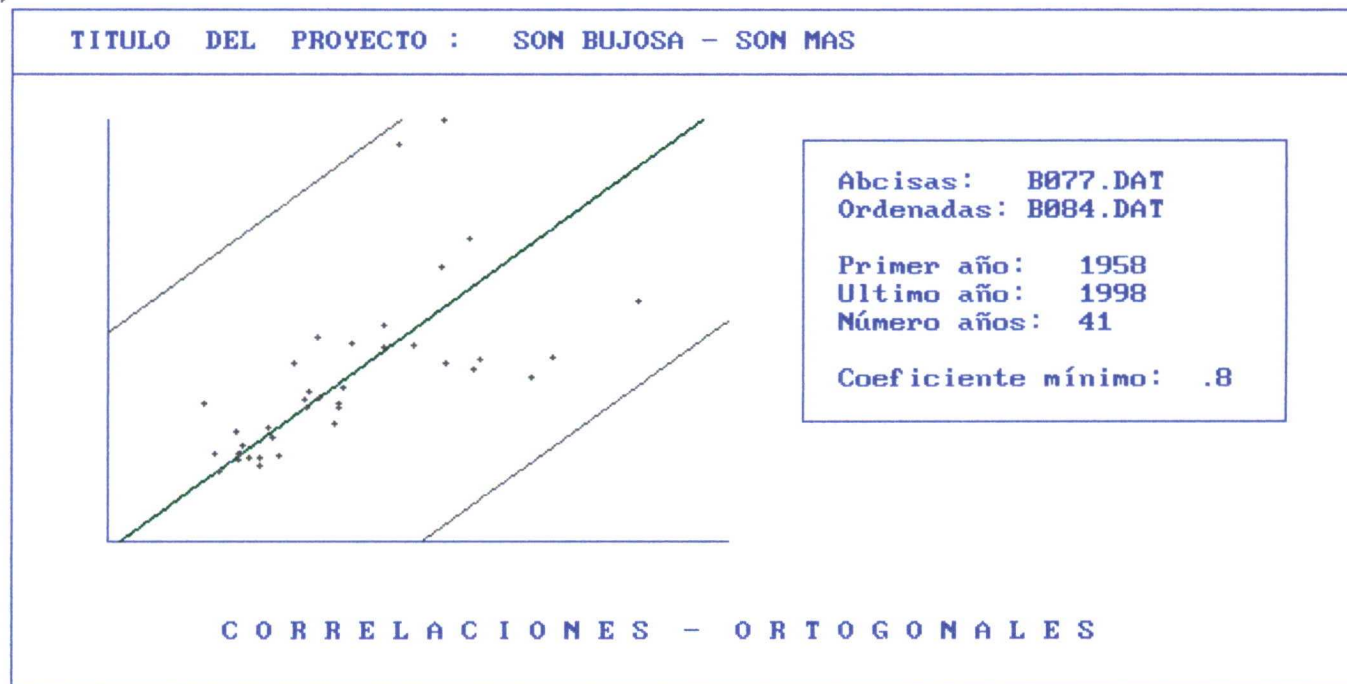
HOMÓGENEIZACIÓN DE DATOS: Comparación con las estaciones B075 FAR PUNTA GROSSA, B061 SÓLLER, B084 SON MAS y B244 SON PACS.



CORRELACIÓN DE DATOS ANUAL: Comparación con B075 - B061 - B084 - B244

Síntesis correlación

B077 - B075	RO = 0.493
B077 - B061	RO = 0.519
B077 - B084	RO = 0.640 SON BUJOSA - SON MAS
B077 - B244	RO = 0.401



DATOS UTILIZADOS 38 ITERACION 1

PARAMETROS CALCULADOS

MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800

COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .640

RECTA DE CORRELACION  $Y = -20.211 + (1.326 \cdot X)$

COEFICIENTE DE CORRELACION FUERA DE TOLERANCIA

\*\*\*\*\* 5 PUNTOS FUERA DE TOLERANCIA

DATOS UTILIZADOS 33

ITERACION 2

PARAMETROS CALCULADOS

MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800

COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .812

RECTA DE CORRELACION  $Y = -4.958 + (1.122 \cdot X)$

COEFICIENTE DE CORRELACION DENTRO DE TOLERANCIA



CORRELACIÓN DE DATOS MENSUAL: Comparación con B075 - B061 - B084 - B244

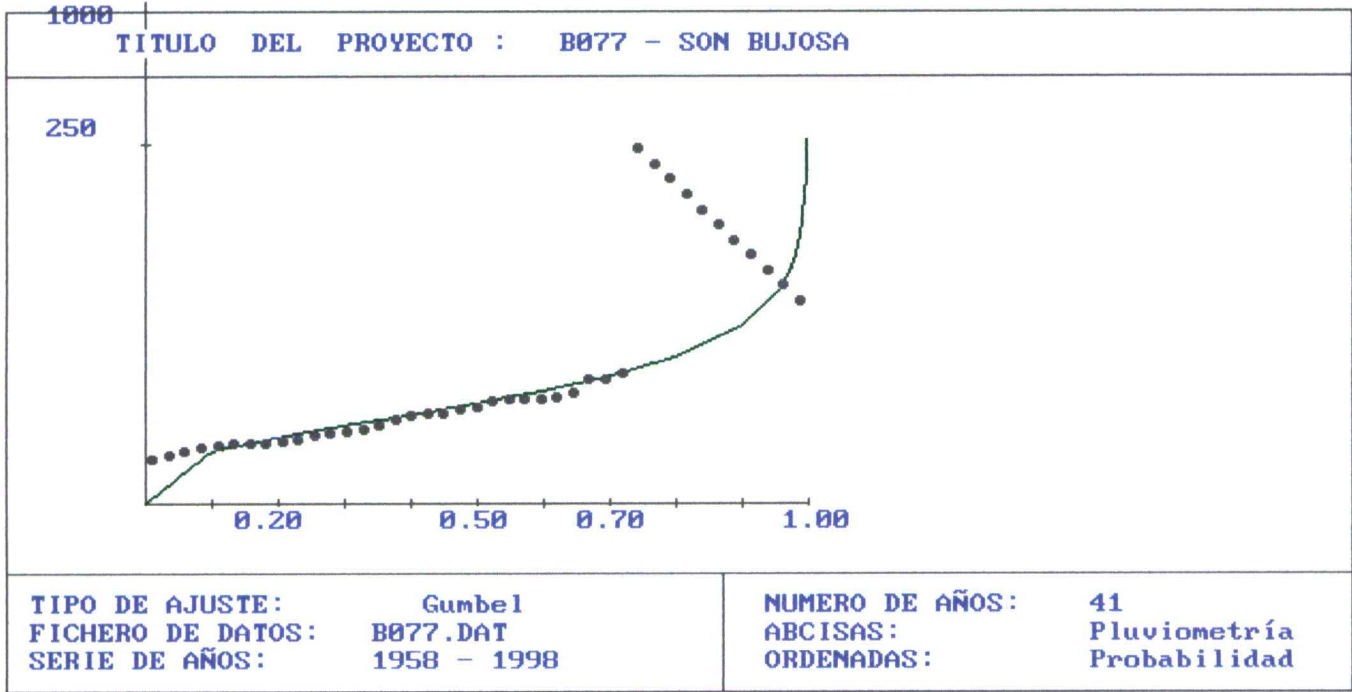
Síntesis correlación	B077 - B075	RO = 0.799	SON BUJOSA - FAR PUNTA GROSSA
	B077 - B061	RO = 0.751	
	B077 - B084	RO = 0.761	
	B077 - B244	RO = 0.707	

La mejor correlación de B077 SON BUJOSA se presenta con la estación B075 FAR PUNTA GROSSA. La gráfica y los cálculos se han mostrado anteriormente en la estación B075.

RESTITUCIÓN DE DATOS: Los datos mensuales ausentes se han restituido con la estación B075.

La ecuación de la recta de regresión es:  $Y = -1.590 + (1.398 * X)$  siendo  $X = B075$   $Y = B077$

DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL. PERÍODOS DE RETORNO



VALOR MEDIO = 75.043900  
DESVIACION TIPICA = 36.028530  
COEF. VARIACION (media/desv. tipica) = 2.082902

PERIODOS DE RETORNO Y PROBABILIDADES

Periodo retorno	Probabilidad
5	.800
10	.900
25	.960
50	.980
100	.990
150	.993
175	.994

BONDAD DEL AJUSTE CHI-DOS = 22.9718800000  
con 39 grados de libertad  
CHI-DOSc = 24.4

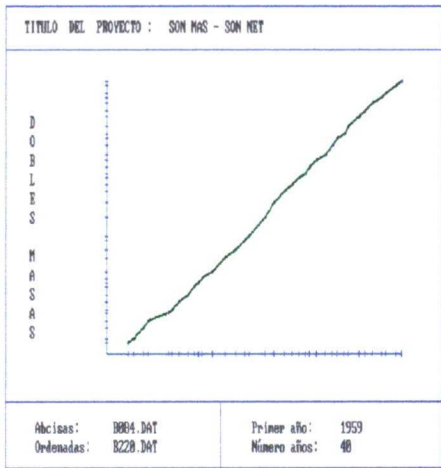
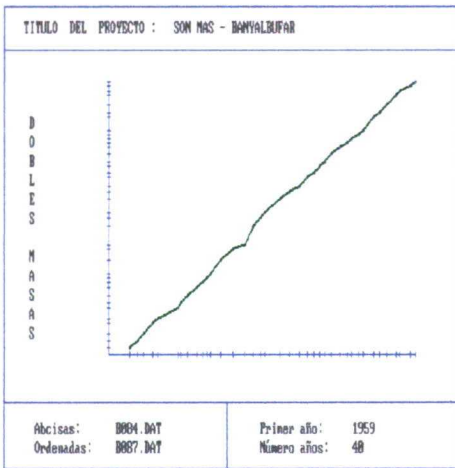
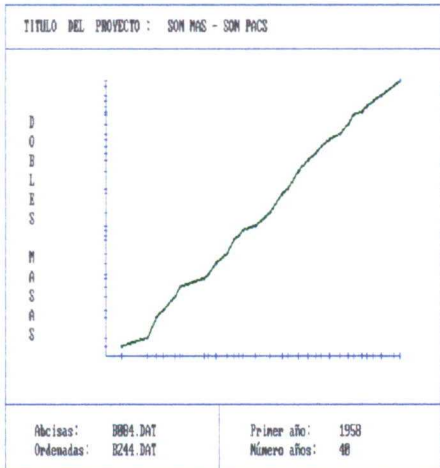
VALORES DE LA FUNCION DE GUMBEL

Probabilidad	Pluviometria
.100	35.4
.200	45.5
.300	53.6
.400	61.3
.500	69.1
.600	77.7
.700	87.8
.800	101.0
.900	122.0
.960	148.7
.980	168.4
.990	188.1
.998	233.4
.999	252.9

CHI-DOS < CHI-DOSc  
Buen ajuste de la distribución con  
un nivel de confianza del 97.5%

# ESTACIÓN B084 SON MAS

HOMOGENEIZACIÓN DE DATOS: Comparación con las estaciones B077 SON BUJOSA, B061 SÓLLER, B244 SON PACS, B087 BANYALBUFAR y B220 SON NET



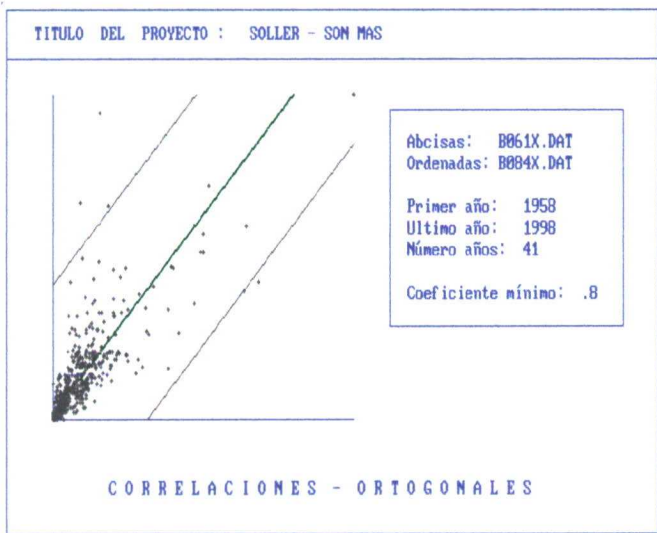
CORRELACIÓN DE DATOS ANUAL: Comparación con B077 - B061 - B244 - B220

Síntesis correlación	B084 - B077	RO = 0.640	SON MAS - SON BUJOSA
	B084 - B061	RO = 0.616	
	B084 - B244	RO = 0.287	
	B084 - B087	RO = 0.499	
	B084 - B220	RO = 0.563	

La mejor correlación de B084 SON MAS se presenta con la estación B077 SON BUJOSA. La gráfica y los cálculos se han mostrado anteriormente en la estación B077.

CORRELACIÓN DE DATOS MENSUAL: Comparación con B077 - B061 - B244 - B220

Síntesis correlación	B084 - B077	RO = 0.761	
	B084 - B061	RO = 0.769	SON MAS - SÓLLER
	B084 - B244	RO = 0.691	
	B084 - B087	RO = 0.668	
	B084 - B220	RO = 0.712	



DATOS UTILIZADOS 487      ITERACION 1  
PARAMETROS CALCULADOS

MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .769  
RECTA DE CORRELACION  $Y = 5.250 + (.710 \cdot X)$   
COEFICIENTE DE CORRELACION FUERA DE TOLERANCIA  
\*\*\*\*\* 25 PUNTOS FUERA DE TOLERANCIA

DATOS UTILIZADOS 462      ITERACION 2  
PARAMETROS CALCULADOS

MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .863  
RECTA DE CORRELACION  $Y = 2.187 + (.762 \cdot X)$   
COEFICIENTE DE CORRELACION DENTRO DE TOLERANCIA

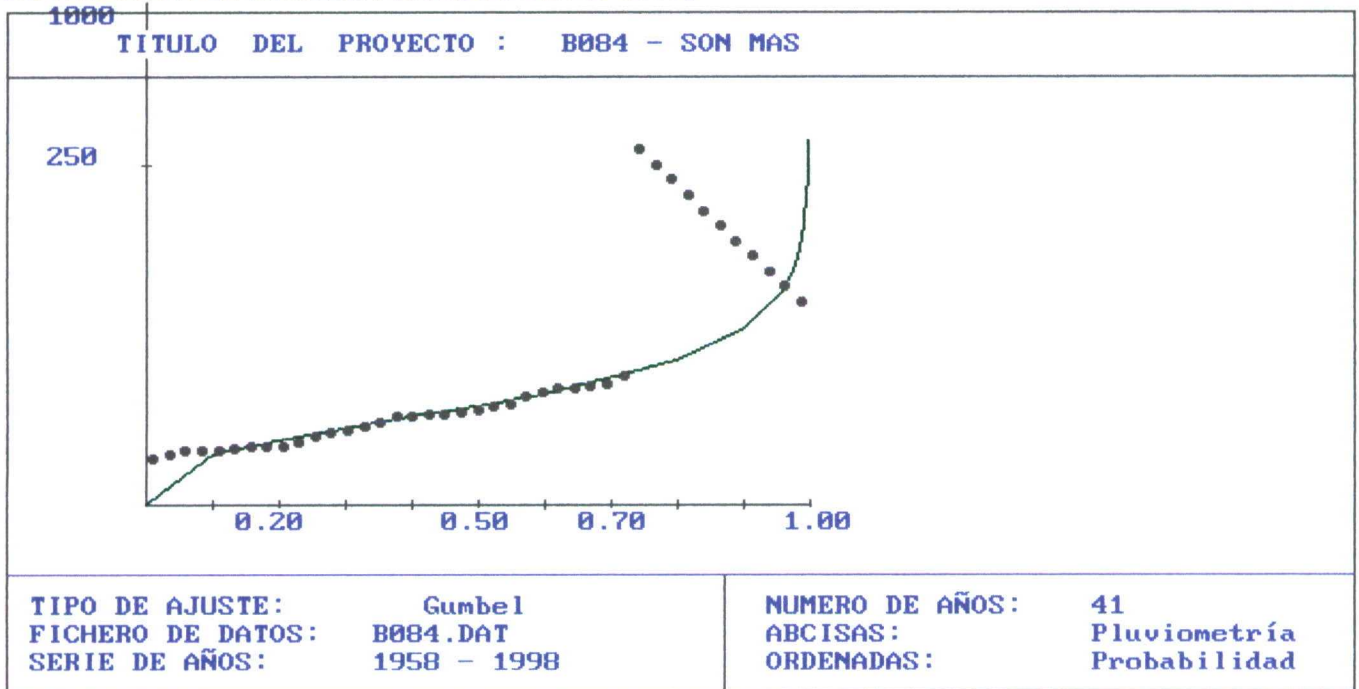


**RESTITUCIÓN DE DATOS:** Los datos mensuales ausentes en la estación B084 SON MAS se han restituido con la estación B061 SÓLLER.

La ecuación de la recta de regresión es:  $Y = 2.187 + (0.762 * X)$

siendo X = B061 SÓLLER  
Y = B084 SON MAS

### DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL. PERÍODOS DE RETORNO



VALOR MEDIO = 78.639030  
DESVIACION TIPICA = 38.231030  
COEFICIENTE DE VARIACION (media/desv. tipica) = 2.056942

### VALORES DE LA FUNCION DE GUMBEL

Probabilidad	Pluviometria
.100	36.6
.200	47.2
.300	55.9
.400	64.0
.500	72.4
.600	81.5
.700	92.2
.800	106.1
.900	128.5
.960	156.8
.980	177.7
.990	198.6
.998	246.7
.999	267.3

## PERIODOS DE RETORNO Y PROBABILIDADES

Periodo retorno	Probabilidad
5	.800
10	.900
25	.960
50	.980
100	.990
150	.993
175	.994

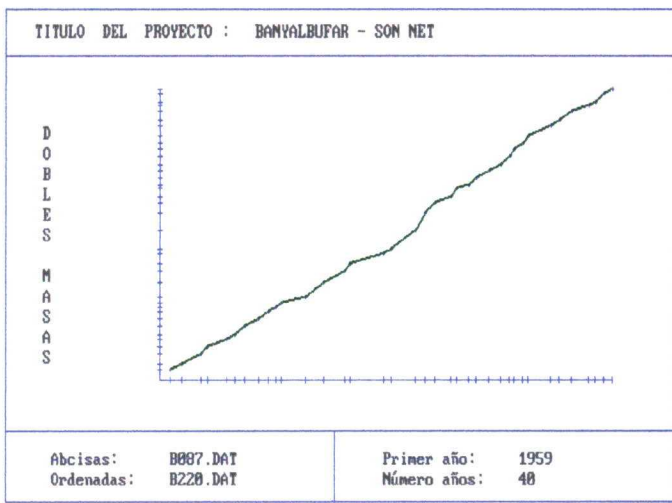
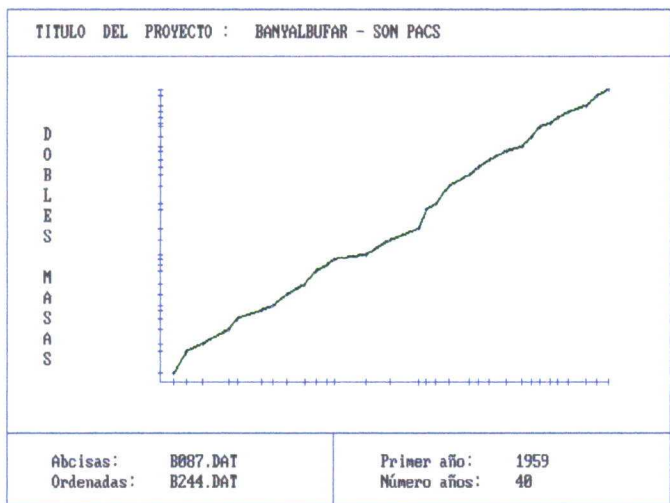
BONDAD DEL AJUSTE      CHI-DOS = 33.8356200000  
con 39 grados de libertad

CHI-DOS<sub>c</sub> = 39.3

CHI-DOS < CHI-DOSc  
El ajuste de la distribución es aceptable  
para un nivel de confianza del 50%

## ESTACIÓN B087 BANYALBUFAR

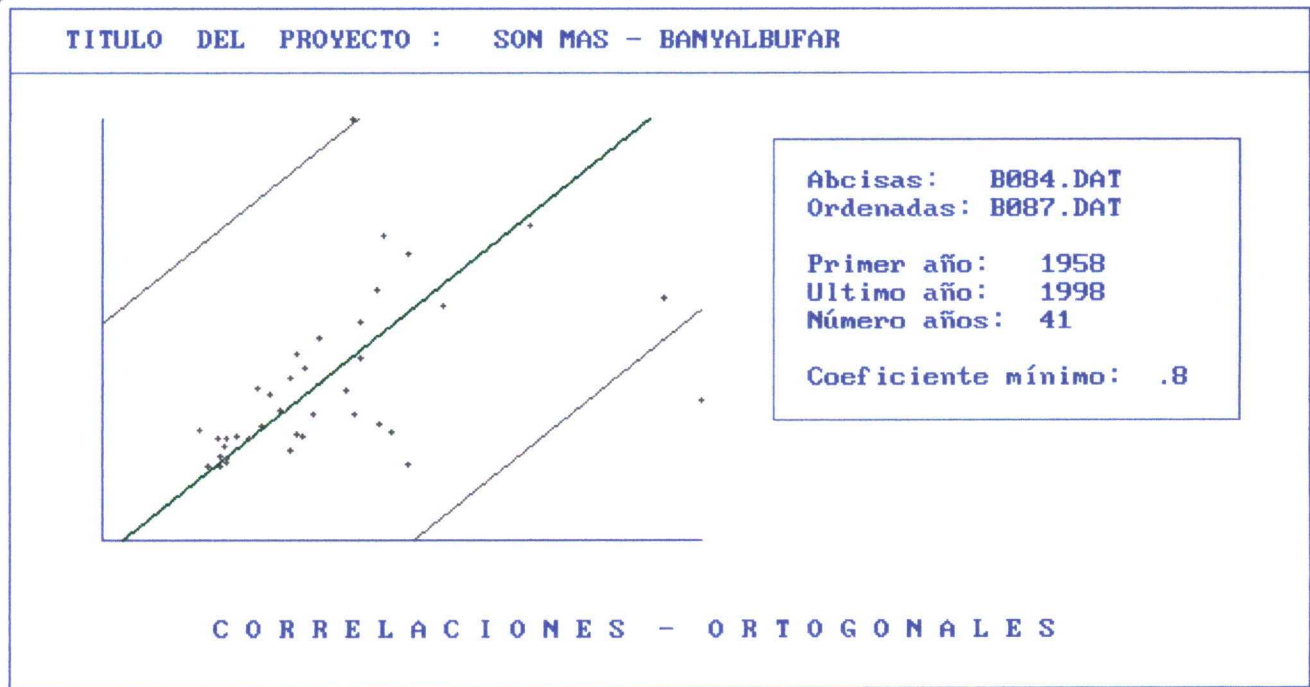
HOMOGENEIZACIÓN DE DATOS: Comparación con las estaciones B084 SON MAS, B244 SON PACS, y B220 SON NET.



CORRELACIÓN DE DATOS ANUAL: Comparación con B084 - B244 - B220

Síntesis correlación

B087 - B084	RO = 0.499	BANYALBUFAR - SON MAS
B087 - B244	RO = 0.141	
B087 - B220	RO = 0.432	



DATOS UTILIZADOS 38      ITERACION 1  
PARAMETROS CALCULADOS

MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .499  
RECTA DE CORRELACION  $Y = 8.192 + (.707 \cdot X)$   
COEFICIENTE DE CORRELACION FUERA DE TOLERANCIA  
\*\*\*\*\* 2 PUNTOS FUERA DE TOLERANCIA

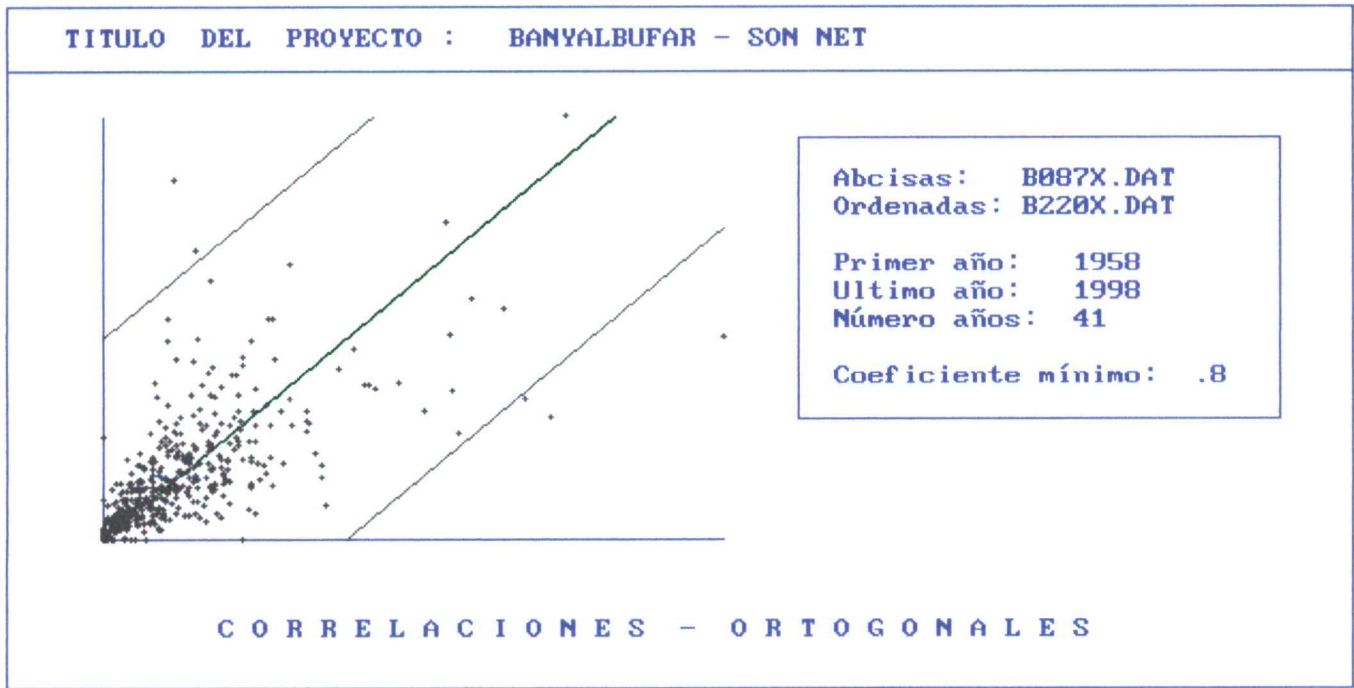
DATOS UTILIZADOS 33      ITERACION 3  
PARAMETROS CALCULADOS

MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .805  
RECTA DE CORRELACION  $Y = -6.984 + (.953 \cdot X)$   
COEFICIENTE DE CORRELACION DENTRO DE TOLERANCIA



CORRELACIÓN DE DATOS MENSUAL: Comparación con B084 - B244 - B220

Síntesis correlación	B087 - B084	RO = 0.668	
	B087 - B244	RO = 0.617	
	B087 - B220	RO = 0.689	BANYALBUFAR - SON NET



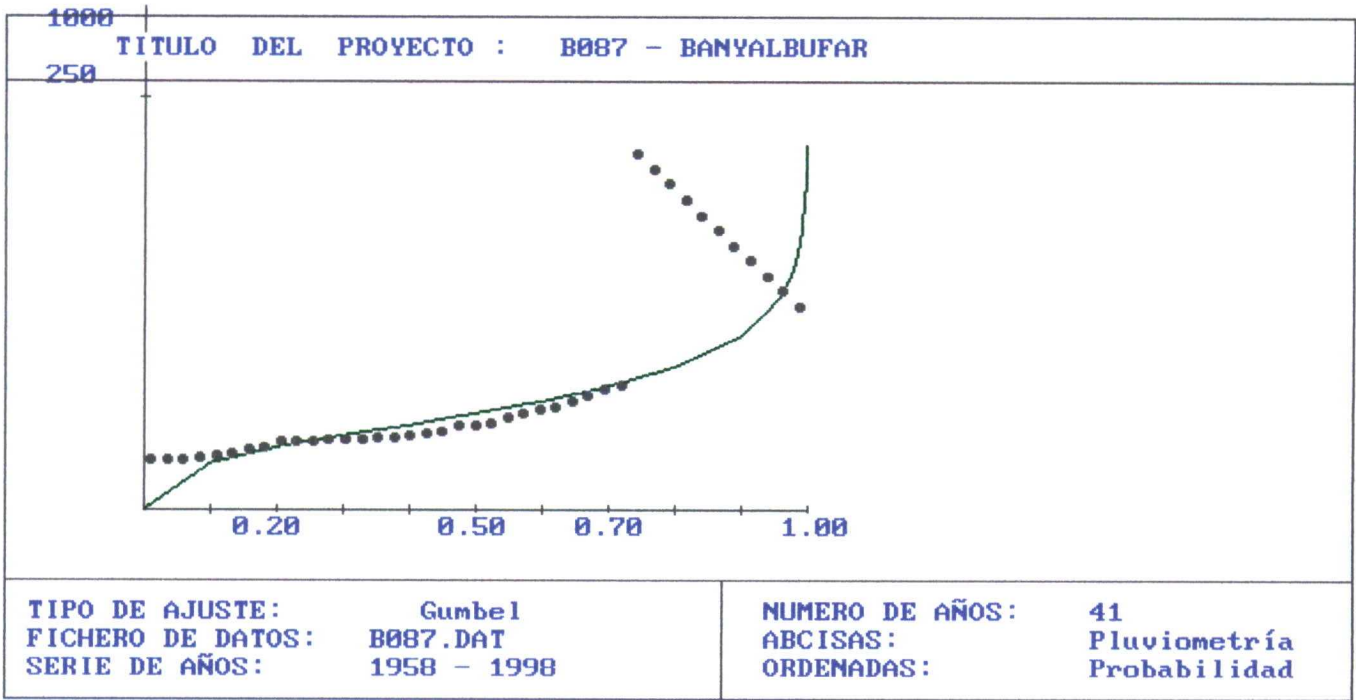
DATOS UTILIZADOS 483	ITERACION 1	DATOS UTILIZADOS 460	ITERACION 2
PARAMETROS CALCULADOS		PARAMETROS CALCULADOS	
<hr/>		<hr/>	
X MEDIA = 19.637	Y MEDIA = 24.016	X MEDIA = 17.979	Y MEDIA = 21.851
SIGMA DOS X = 429.348	SIGMA DOS Y = 549.815	SIGMA DOS X = 303.436	SIGMA DOS Y = 428.975
SIGMA XY = 334.956		SIGMA XY = 296.133	
LANDA 1 = 149.252	LANDA 2= 829.911	LANDA 1 = 63.493	LANDA 2= 668.918
MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800		MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800	
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .689		COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .821	
RECTA DE CORRELACION Y= .533+( 1.196*X)		RECTA DE CORRELACION Y= -.339+( 1.234*X)	
DESVIACION TIPICA = 12.217		DESVIACION TIPICA = 7.968	
COEFICIENTE DE CORRELACION FUERA DE TOLERANCIA		COEFICIENTE DE CORRELACION DENTRO DE TOLERANCIA	
***** 23 PUNTOS FUERA DE TOLERANCIA			

RESTITUCIÓN DE DATOS: Los datos mensuales ausentes en la estación B087 BANYALBUFAR se han restituido con la estación B220 SON NET.

La ecuación de la recta de regresión es:  $Y = -0.339 + (1.234 * X)$

siendo X = B087 BANYALFUBAR  
Y = B220 SON NET

DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL. PERÍODOS DE RECURRENCIA



VALOR MEDIO = 63.209740  
DESVIACION TIPICA = 31.877400  
COEFICIENTE DE VARIACION (media/desv. tipica) = 1.982901

VALORES DE LA FUNCION DE GUMBEL

Probabilidad	Pluviometria
.100	28.1
.200	37.0
.300	44.2
.400	51.0
.500	58.0
.600	65.6
.700	74.5
.800	86.1
.900	104.8
.960	128.4
.980	145.8
.990	163.2
.998	203.3
.999	220.6

PERIODOS DE RETORNO Y PROBABILIDADES

Periodo retorno	Probabilidad
5	.800
10	.900
25	.960
50	.980
100	.990
150	.993
175	.994

BONDAD DEL AJUSTE

CHI-DOS = 46.8509200000

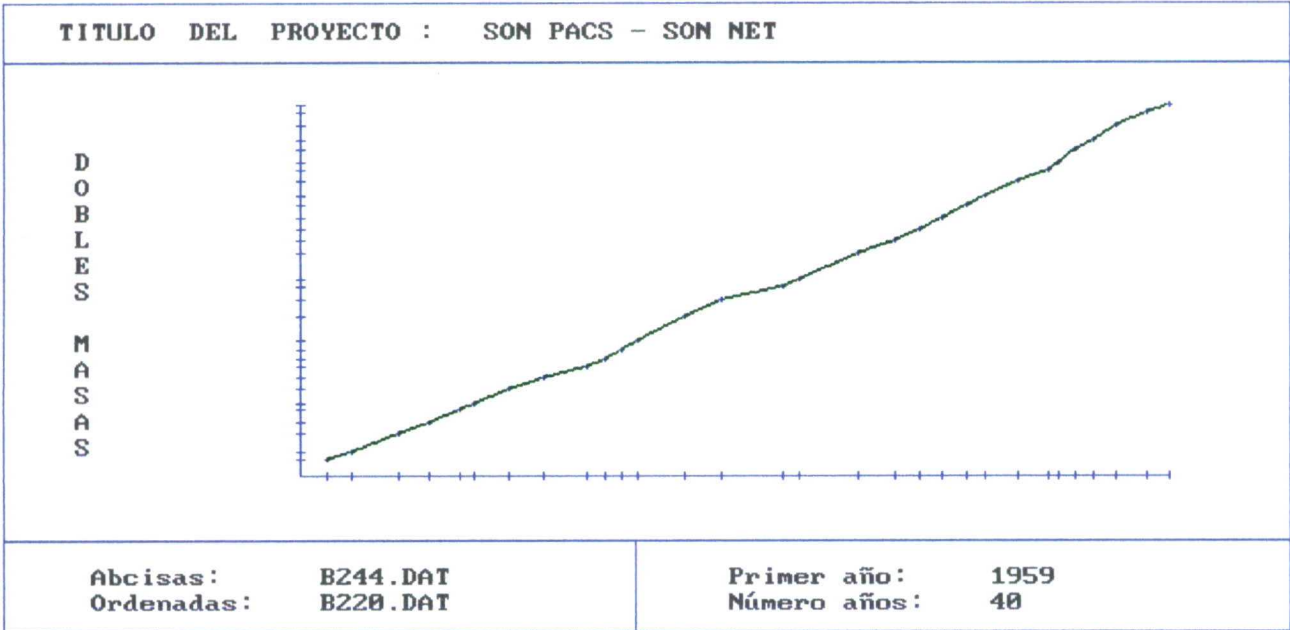
CHI-DOSc = 51.8

CHI-DOS < CHI-DOSc  
El ajuste de la distribución sólo es aceptable con un nivel de confianza del 10%



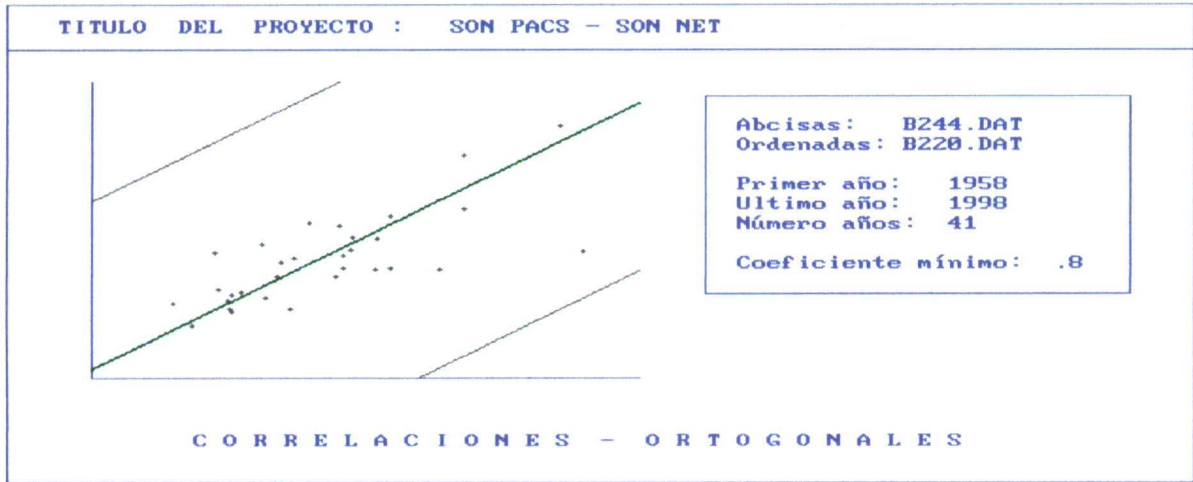
ESTACIÓN B244 SON PACS

HOMOGENEIZACIÓN DE DATOS: Comparación con las estaciones B061 SÓLLER, B077 SON BUJOSA B084 SON MAS, B087 BANYALBUFAR y B220 SON NET.



CORRELACIÓN DE DATOS ANUAL: Comparación con B061 - B077 - B084 - B087 - B220

Síntesis correlación	B244 - B061	RO = 0.417
	B244 - B077	RO = 0.401
	B244 - B084	RO = 0.287
	B244 - B087	RO = 0.141
	B244 - B220	RO = 0.733 SON PACS - SON NET



DATOS UTILIZADOS 31      ITERACION 1  
PARAMETROS CALCULADOS

-----

MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .733  
RECTA DE CORRELACION Y= 13.178+( .778\*X)  
COEFICIENTE DE CORRELACION FUERA DE TOLERANCIA  
\*\*\*\*\* 1 PUNTOS FUERA DE TOLERANCIA

DATOS UTILIZADOS 30      ITERACION 2  
PARAMETROS CALCULADOS

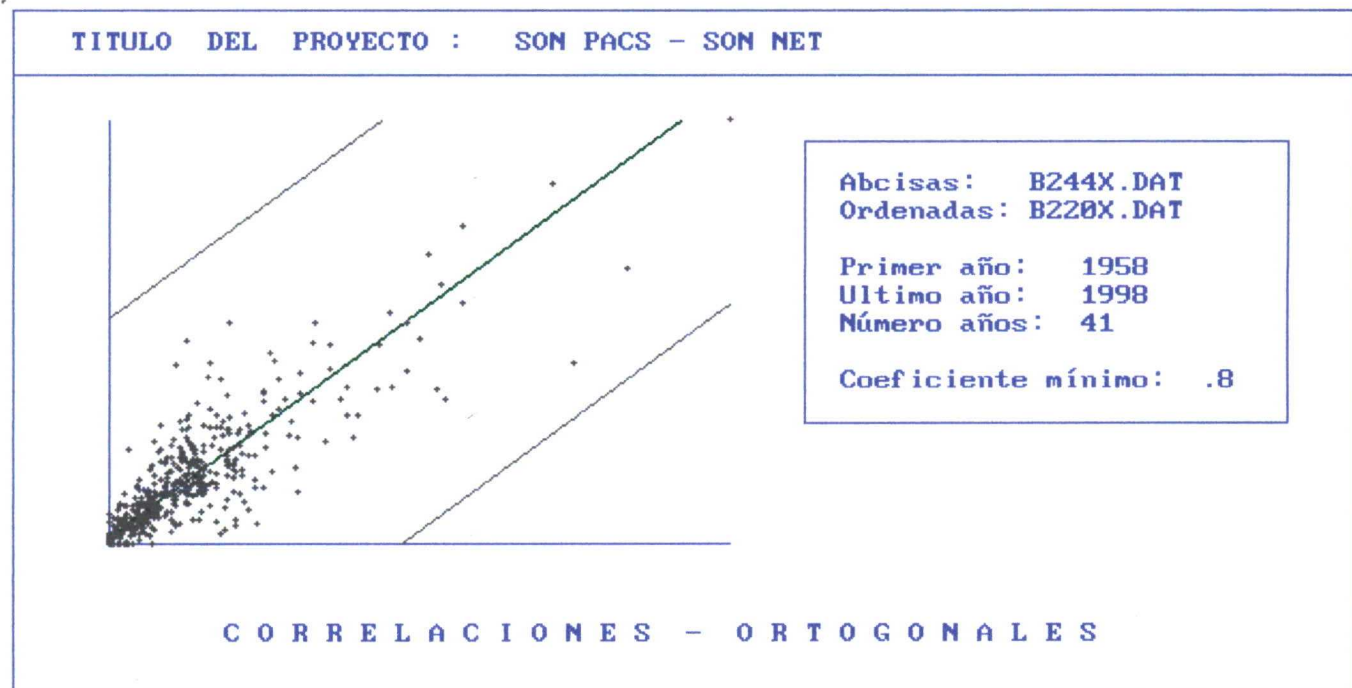
-----

MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .812  
RECTA DE CORRELACION Y= 4.677+( .930\*X)  
COEFICIENTE DE CORRELACION DENTRO DE TOLERANCIA

## CORRELACIÓN DE DATOS MENSUAL: Comparación con B061 - B077 - B084 - B087 - B220

Síntesis correlación

B244 - B061	RO = 0.754
B244 - B077	RO = 0.707
B244 - B084	RO = 0.691
B244 - B087	RO = 0.617
B244 - B220	RO = 0.858 SON PACS - SON NET



DATOS UTILIZADOS 479      ITERACIÓN 1  
PARAMETROS CALCULADOS

-----

X MEDIA = 23.675      Y MEDIA = 23.867  
SIGMA DOS X = 618.842      SIGMA DOS Y = 544.380  
SIGMA XY = 497.951  
LANDA 1 = 82.270      LANDA 2= \*\*\*\*\*  
MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .858  
RECTA DE CORRELACION Y= 1.896+( .928\*X)  
DESVIACION TIPICA = 9.070  
COEFICIENTE DE CORRELACION DENTRO DE TOLERANCIA

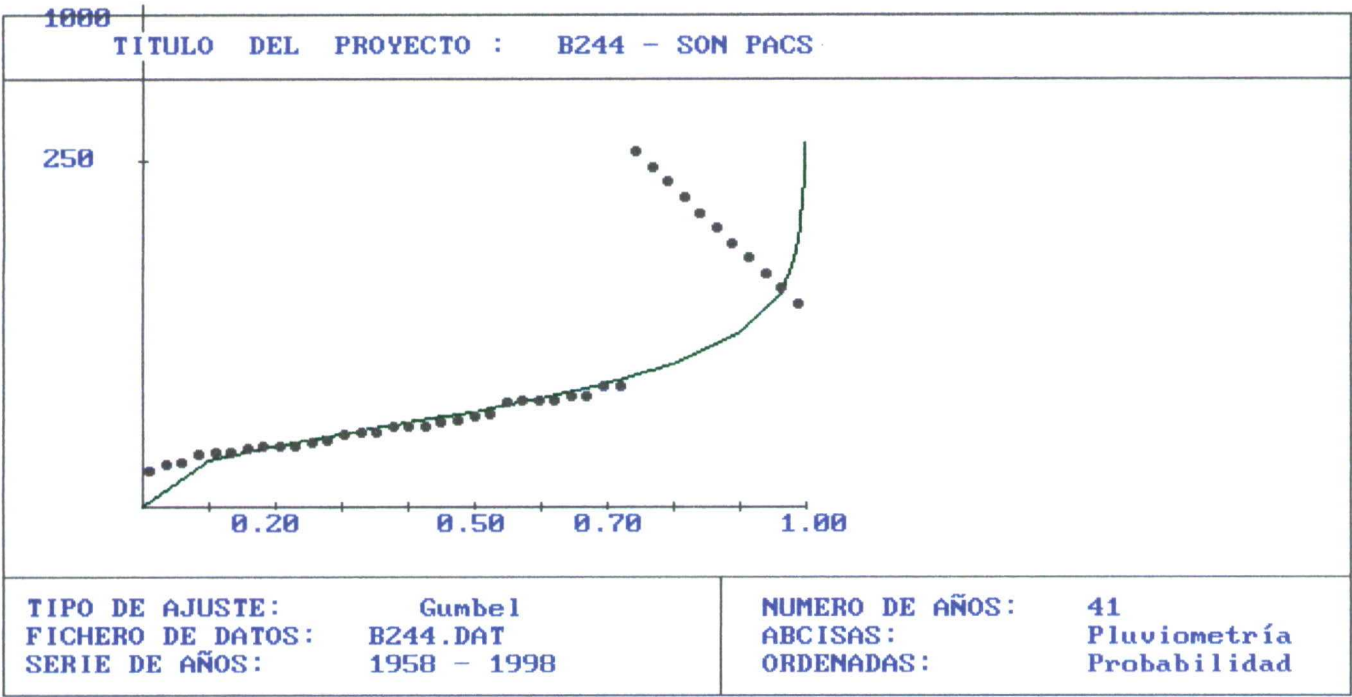
RESTITUCIÓN DE DATOS: Los datos mensuales ausentes en la estación B244 SON PACS se han restituido con la estación B220 SON NET.

La ecuación de la recta de regresión es:  $Y = 1.896 + (0.928 * X)$

siendo X = B244 SON PACS  
Y = B220 SON NET



DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL. PERÍODOS DE RETORNO



VALOR MEDIO = 74.651210  
DESVIACION TIPICA = 38.137190  
COEFICIENTE DE VARIACION (media/desv. tipica) = 1.957439

VALORES DE LA FUNCION DE GUMBEL

Probabilidad	Pluviometria
.100	32.7
.200	43.3
.300	52.0
.400	60.1
.500	68.4
.600	77.5
.700	88.1
.800	102.1
.900	124.4
.960	152.6
.980	173.5
.990	194.3
.998	242.3
.999	262.9

PERIODOS DE RETORNO Y PROBABILIDADES

Periodo retorno	Probabilidad
5	.800
10	.900
25	.960
50	.980
100	.990
150	.993
175	.994

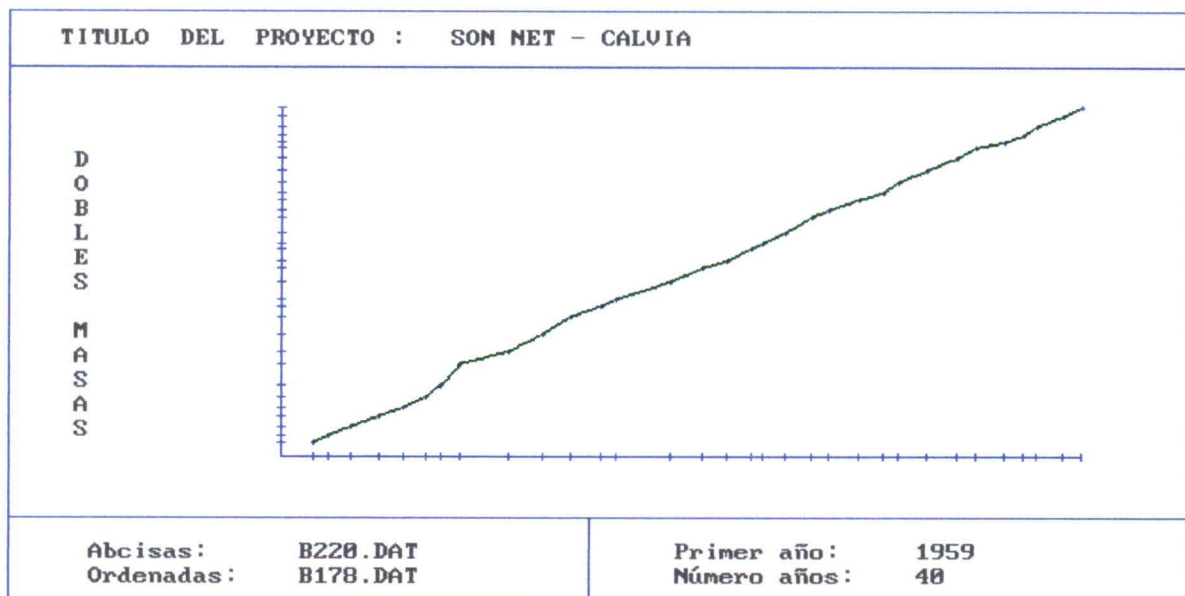
BONDAD DEL AJUSTE

CHI-DOS = 23.6995600000      CHI-DOSc = 26.5  
con 39 grados de libertad

CHI-DOS < CHI-DOSc  
Buen ajuste de la distribución con  
un nivel de confianza del 95%

## ESTACIÓN B220 SON NET

HOMOGENEIZACIÓN DE DATOS: Comparación con las estaciones B087 BANYALBUFAR, B084 SON MAS, B244 SON PACS y B178 CALVIÁ



CORRELACIÓN DE DATOS ANUAL: Comparación con B087 - B084 - B244 - B178

Síntesis correlación	B220 - B087	RO = 0.499	
	B220 - B084	RO = 0.563	
	B220 - B244	RO = 0.733	SON NET - SON PACS
	B220 - B178	RO = 0.464	

La mejor correlación de B220 SON NET se presenta con la estación B244 SON PACS. La gráfica y los cálculos se han mostrado en la estación anterior B244.

CORRELACIÓN DE DATOS MENSUAL: Comparación con B087 - B084 - B244 - B178

Síntesis correlación	B220 - B087	RO = 0.689	
	B220 - B084	RO = 0.712	
	B220 - B244	RO = 0.858	SON NET - SON PACS
	B220 - B178	RO = 0.764	

La mejor correlación de B220 SON NET se presenta con la estación B244 SON PACS. La gráfica y los cálculos se han mostrado en la estación anterior B244.

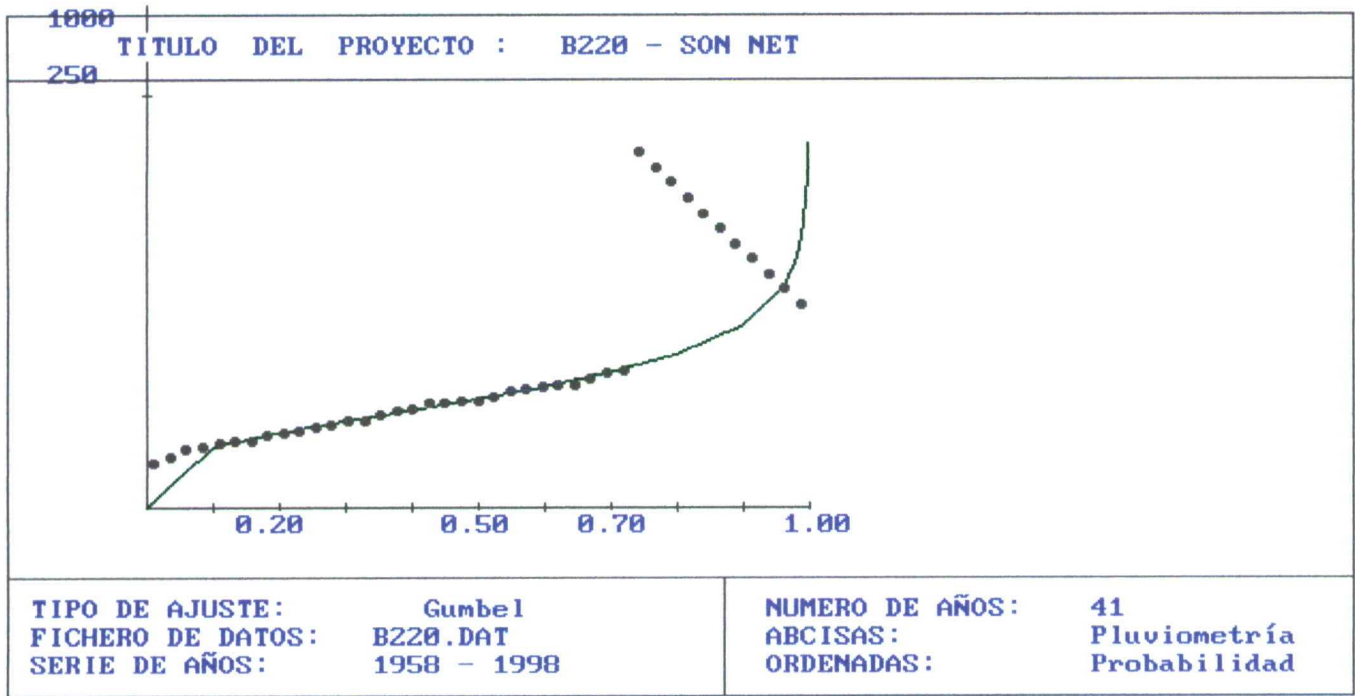
RESTITUCIÓN DE DATOS: Los datos mensuales ausentes en la estación B220 SON NET se han restituido con la estación B244 SON PACS.

La ecuación de la recta de regresión es:  $Y = 1.896 + (0.928 * X)$

siendo X = B244 SON PACS  
Y = B220 SON NET



DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL. PERÍODOS DE RETORNO



VALOR MEDIO = 70.063410  
DESVIACION TIPICA = 30.481010  
COEFICIENTE DE VARIACION (media/desv. tipica) = 2.298592

VALORES DE LA FUNCION DE GUMBEL

Probabilidad	Pluviometria
.100	36.5
.200	45.0
.300	51.9
.400	58.4
.500	65.1
.600	72.3
.700	80.8
.800	92.0
.900	109.8
.960	132.4
.980	149.1
.990	165.7
.998	204.0
.999	220.5

PERIODOS DE RETORNO Y PROBABILIDADES

Periodo retorno	Probabilidad
5	.800
10	.900
25	.960
50	.980
100	.990
150	.993
175	.994

BONDAD DEL AJUSTE                      CHI-DOS = 7.4118920000                      CHI-DOSc = 20.7  
con 39 grados de libertad

CHI-DOS < CHI-DOSc  
Buen ajuste de la distribución con  
un nivel de confianza del 99.5%

# ESTACIÓN B178 CALVIÁ

HOMOGENEIZACIÓN DE DATOS: Se ha comparado únicamente con la estación B220 SON NET donde quedó representado el gráfico de las Dobles Masas.

## CORRELACIÓN DE DATOS ANUAL: Comparación con B220



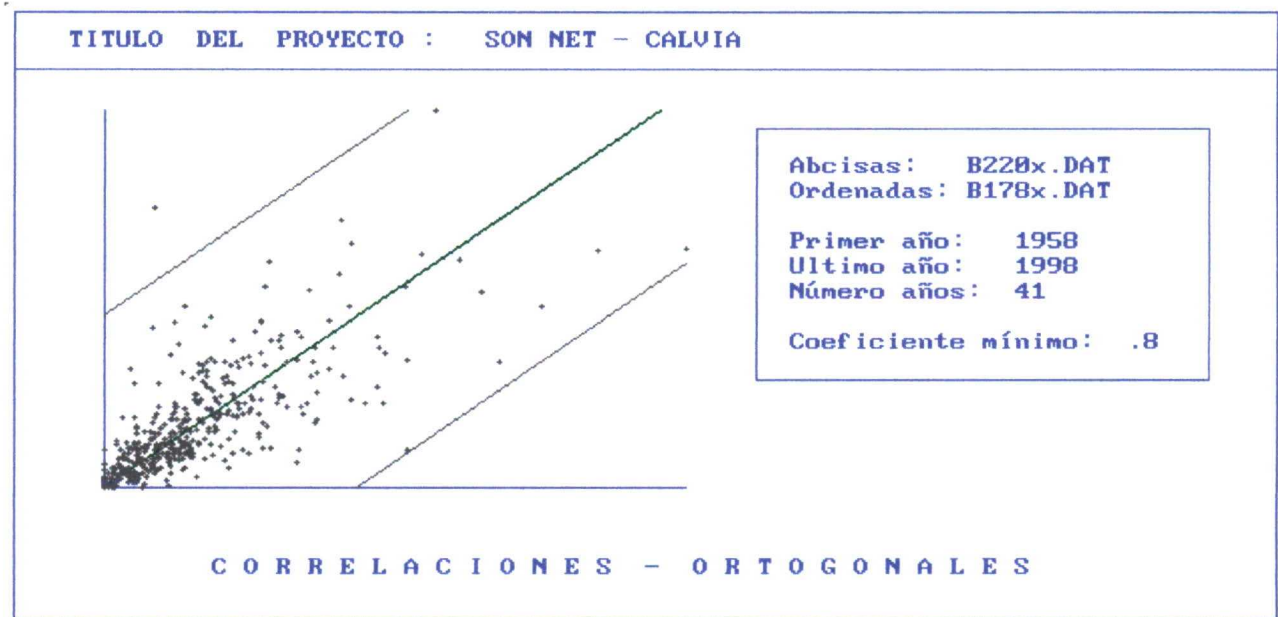
DATOS UTILIZADOS 34 ITERACION 1  
PARAMETROS CALCULADOS

MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .464  
RECTA DE CORRELACION  $Y = 21.381 + (.514 * X)$   
COEF. DE CORRELACION FUERA TOLERANCIA  
\*\*\*\*\* 2 PUNTOS FUERA DE TOLERANCIA

DATOS UTILIZADOS 28 ITERACION 5  
PARAMETROS CALCULADOS

MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .763  
RECTA DE CORRELACION  $Y = 23.649 + (.421 * X)$   
COEF. DE CORRELACION FUERA TOLERANCIA  
TODOS LOS PUNTOS DENTRO DE LAS BANDAS DE GARANTIA

## CORRELACIÓN DE DATOS MENSUAL: Comparación con B220



DATOS UTILIZADOS 482 ITERACION 1  
PARAMETROS CALCULADOS

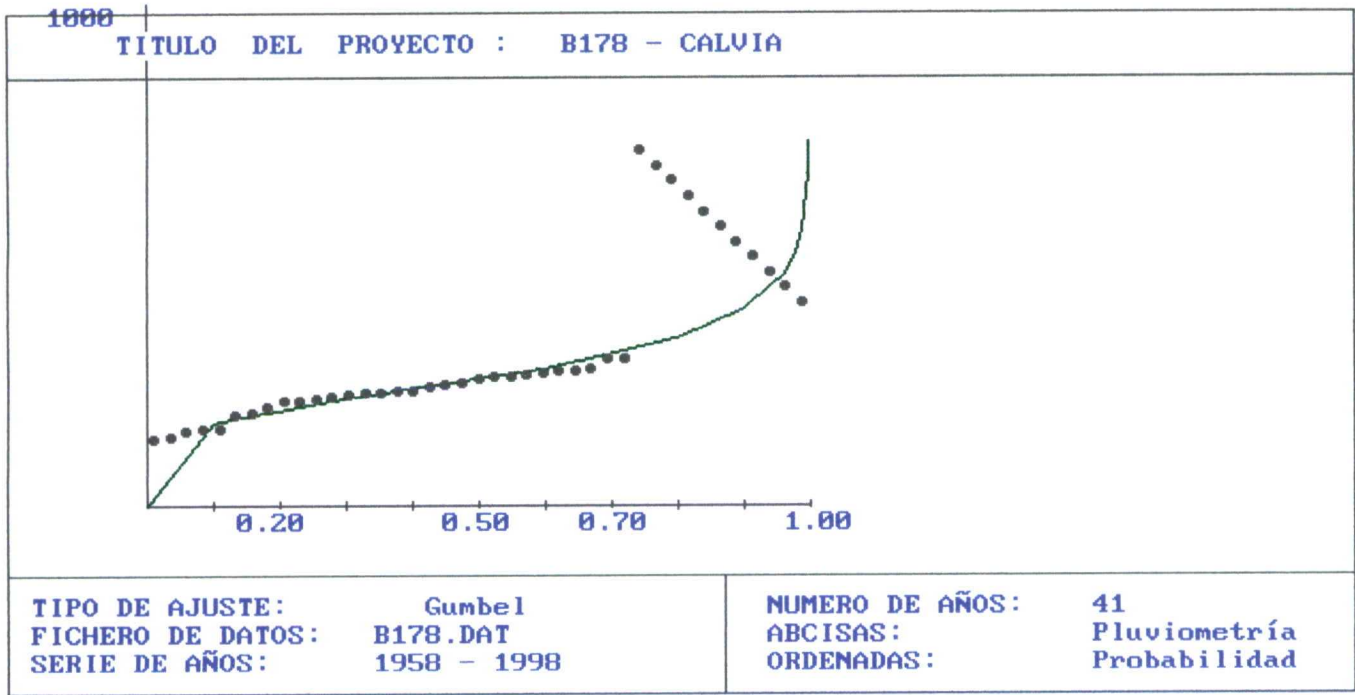
X MEDIA = 23.755 Y MEDIA = 19.672  
SIGMA DOS X = 542.316 SIGMA DOS Y = 372.454  
SIGMA XY = 343.538  
LANDA 1 = 103.504 LANDA 2 = 811.266  
MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .764  
RECTA DE CORRELACION  $Y = 1.075 + (.783 * X)$   
DESVIACION TIPICA = 10.174  
COEFICIENTE DE CORRELACION FUERA DE TOLERANCIA  
\*\*\*\*\* 31 PUNTOS FUERA DE TOLERANCIA

DATOS UTILIZADOS 451 ITERACION 2  
PARAMETROS CALCULADOS

X MEDIA = 21.148 Y MEDIA = 17.304  
SIGMA DOS X = 356.999 SIGMA DOS Y = 254.739  
SIGMA XY = 259.538  
LANDA 1 = 41.342 LANDA 2 = 570.395  
MINIMO COEF. DE CORREL. ADMISIBLE = .800  
COEFICIENTE DE CORRELACION RO = .861  
RECTA DE CORRELACION  $Y = -.084 + (.822 * X)$   
DESVIACION TIPICA = 6.430  
COEFICIENTE DE CORRELACION DENTRO DE TOLERANCIA



DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL. PERÍODOS DE RECURRENCIA



VALOR MEDIO = 59.360980  
DESVIACION TIPICA = 20.816020  
COEFICIENTE DE VARIACION (media/desv. tipica) = 2.851696

VALORES DE LA FUNCION DE GUMBEL

Probabilidad	Pluviometria
.100	36.5
.200	42.3
.300	47.0
.400	51.4
.500	55.9
.600	60.9
.700	66.7
.800	74.3
.900	86.5
.960	101.9
.980	113.3
.990	124.7
.998	150.8
.999	162.1

PERIODOS DE RETORNO Y PROBABILIDADES

Periodo retorno	Probabilidad
5	.800
10	.900
25	.960
50	.980
100	.990
150	.993
175	.994

BONDAD DEL AJUSTE                      CHI-DOS = 4.7916670000                      CHI-DOSc = 20.7  
con 39 grados de libertad

CHI-DOS < CHI-DOSc  
Buen ajuste de la distribución con  
un nivel de confianza del 99.5%



**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEODINÁMICA**



**TESIS DOCTORAL**

**LOS MOVIMIENTOS DE LADERA EN LA SERRA  
DE TRAMUNTANA (MALLORCA).  
CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA Y  
ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD**

**TOMO II  
MAPAS**

**Rosa María Mateos Ruiz**  
**2000**



T 25058  
II

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEODINÁMICA**

**LOS MOVIMIENTOS DE LADERA EN LA SERRA  
DE TRAMUNTANA (MALLORCA).  
CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA Y  
ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD**

Tesis Doctoral presentada por **ROSA MARÍA MATEOS RUIZ** para la  
obtención del grado de Doctora en Ciencias Geológicas

Directores: Dr. Luis I. González de Vallejo y Dra. Mercedes Ferrer Gijón

Madrid, año 2000



**ZONA**

**ESTELLENCES - BANYALBUFAR**

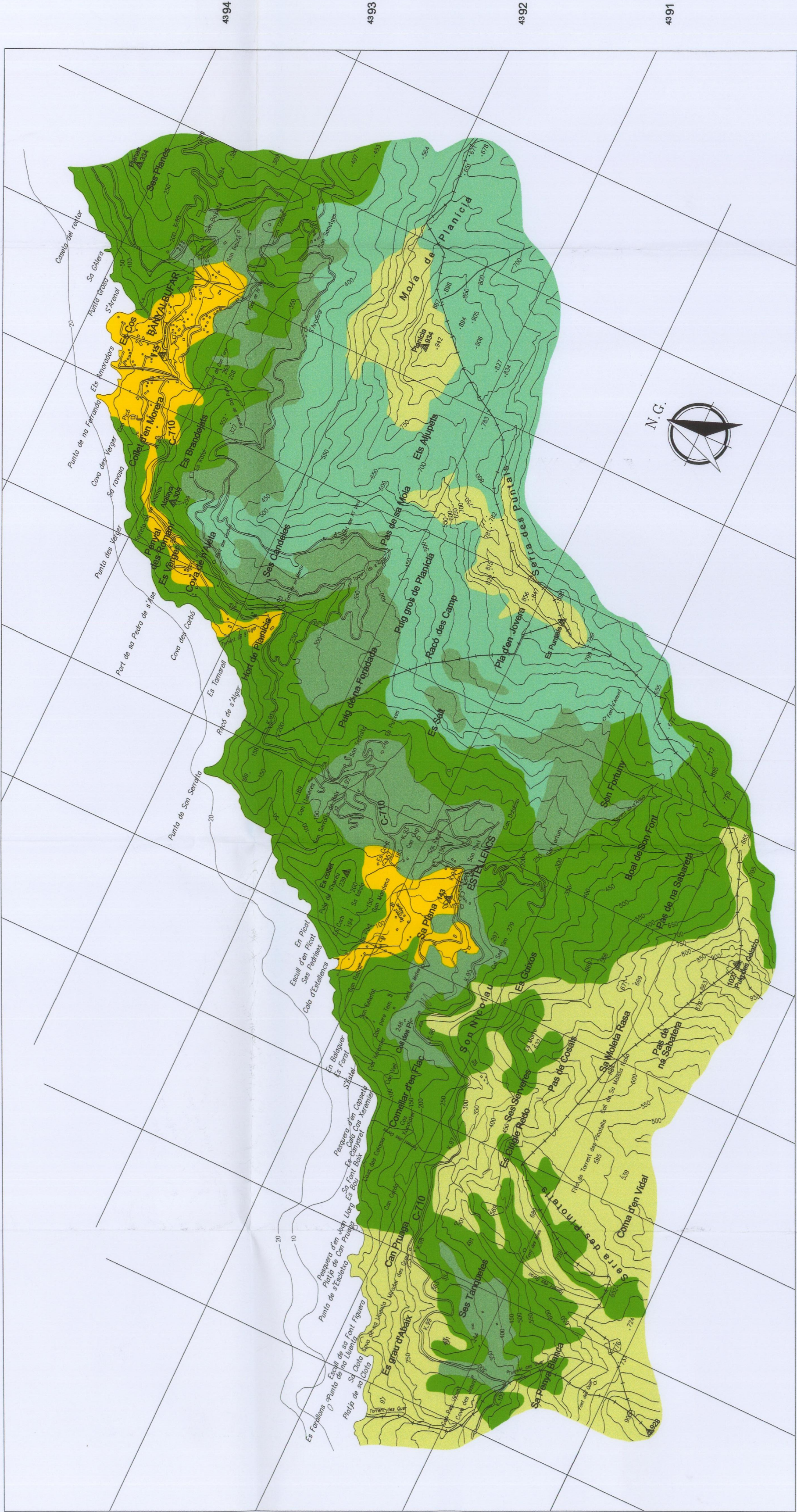












ESCALA GRÁFICA :  
0 500 1000  
mts.

Base topográfica : I.G.N.

LEYENDA :

- Matorral (Com. *Rosmarino - Ericón* ). Ocasionalmente *Pinus halepensis*.
- Pinar denso de *Pinus halepensis* , localmente con encinar ( *Quercus ilex* ).
- Encinar ( *Quercus ilex* ), localmente con pinar ( *Pinus halepensis* ).
- Olivar en seco ( *Olea europaea* ), Algarrobos ( *Ceratonia siliqua* ), Almendros ( *Amygdalus communis* ). Aterrazamiento (márges).
- Urbanización y pequeños huertos. Aterrazamiento (márges).

ZONA :  
ESTELLENCES-BANYALBUFAR

MAPA DE VEGETACIÓN.

Mapa nº 6

ISLA DE MALLORCA

SERRA DE TRAMUNTANA

BANYALBUFAR

ESTELLENCES

MAJORICA

SERRES DE LLEVANT

SERRES CENTRALES

PALMA

AYTORIA

CALVIÀ

0 10 20 Km.

TESIS DOCTORAL :

Estudio de los movimientos de ladera en el litoral de la Serra de Tramuntana (Mallorca).

AUTORA: Rosa María Mateos Ruiz

AÑO: 2000



Rosa María Mateos Ruiz



ESCALA GRÁFICA :  
0 500 1000  
mts.  
Base topográfica : I.G.N.

LEYENDA :

ESTRUCTURAS TECTÓNICAS	GRAVITACIONALES	LITORALES	FLUVIALES	OTROS
Escarpe de línea de falla	Desliz.	Acentuado activo	Cursos	Coliado
Escarpe de falla	Reciente	Acentuado inactivo	Divisoria de aguas	Acumulación de bloques (canchales)
Cima anticlinal	Reciente	Depresión Kárstica	Cárcavas	Cantera
Depresión sinclinal	Frente de caída de rocas	Cañón Kárstico		nº inventario
	Cono de derrubios			

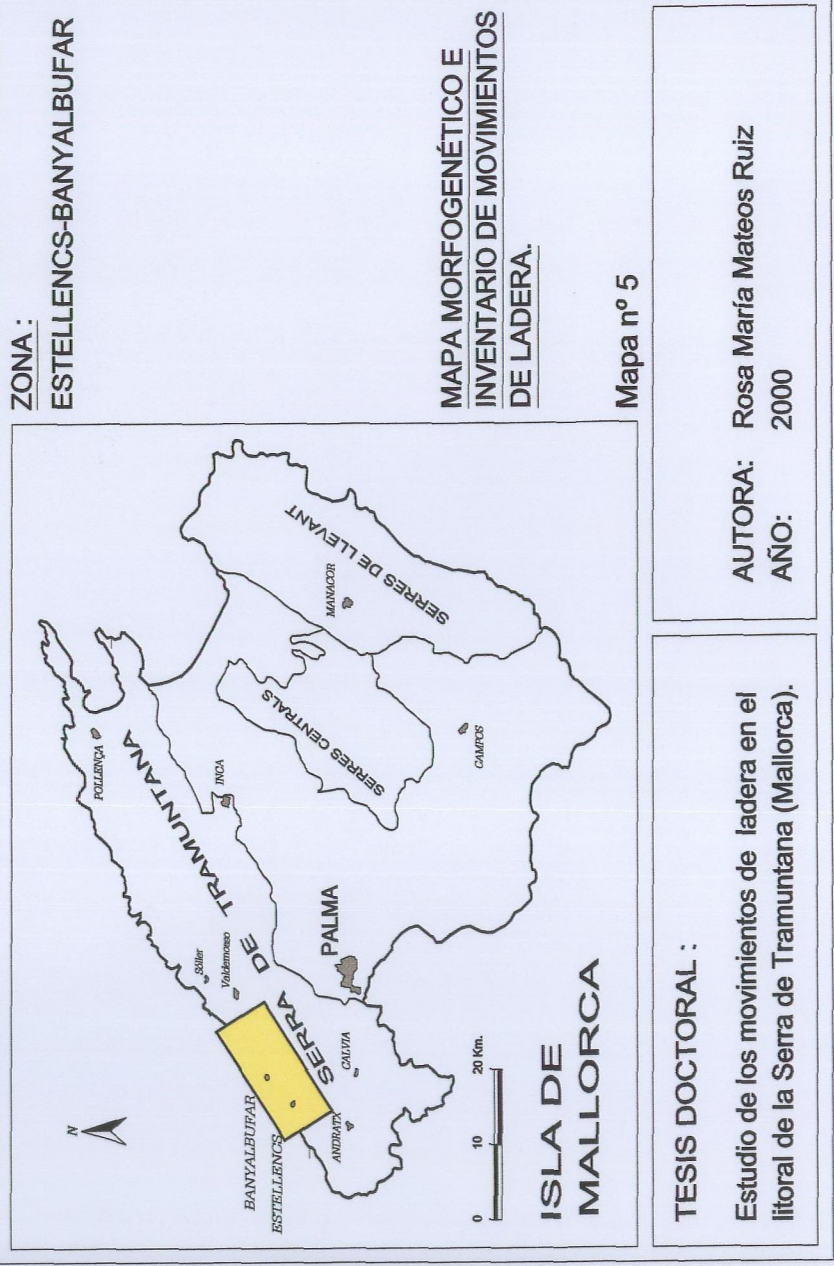
ZONA :  
ESTELLENCES-BANYALBUFAR

MAPA MORFOGENÉTICO E  
INVENTARIO DE MOVIMIENTOS  
DE LADERA.

Mapa nº 5

TESIS DOCTORAL :  
Estudio de los movimientos de ladera en el  
litoral de la Serra de Tramuntana (Mallorca).

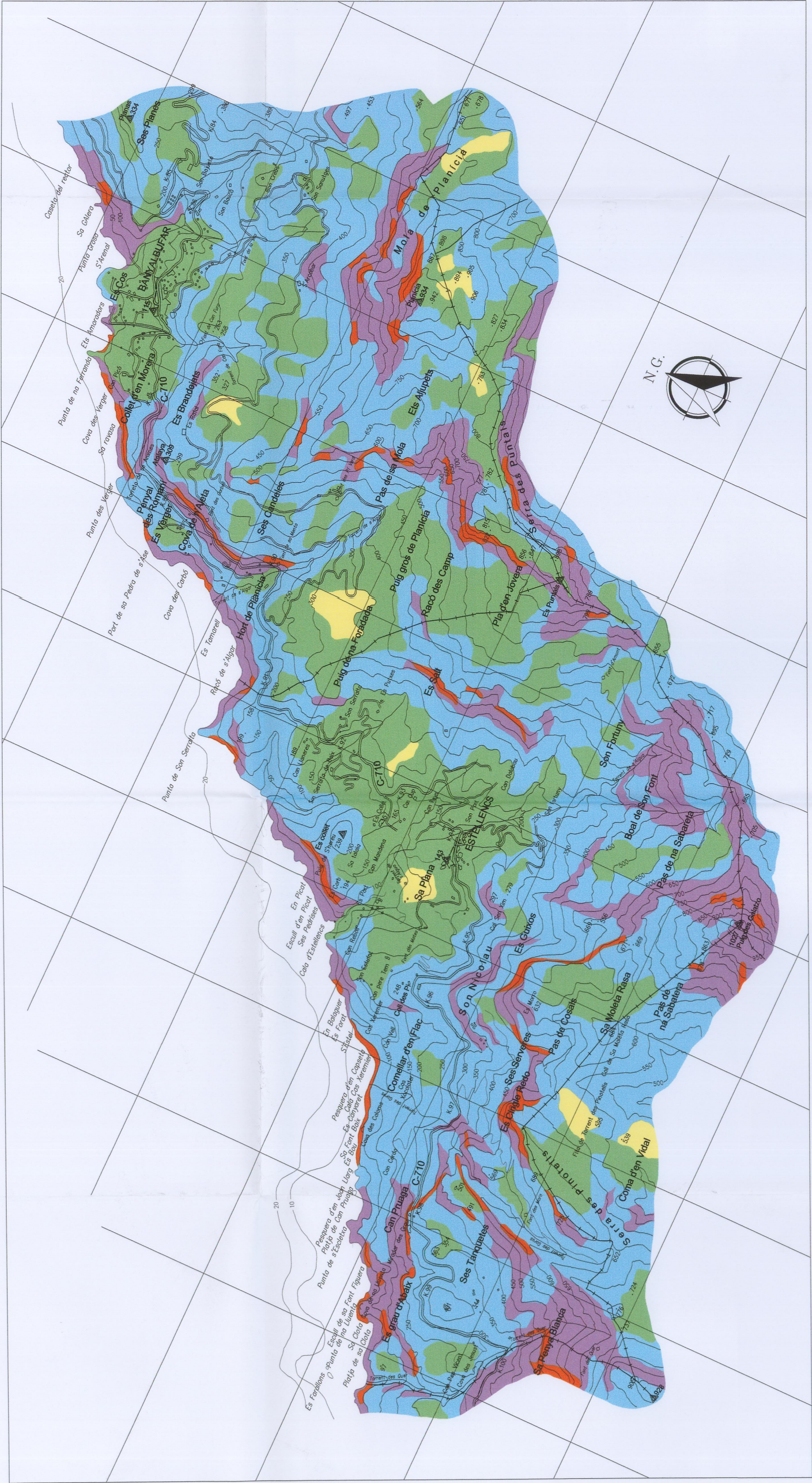
AUTORA: Rosa María Mateos Ruiz  
ANO: 2000





MAPA DE PENDIENTES.      ZONA ESTELLENCES - BANYALBUFAR.      Escala 1:25.000

Rosa María Mateos Ruiz



ESCALA GRÁFICA :  
0      500      1000  
mts.

Base topográfica : I.G.N.

LEYENDA :

pendiente de 5° - 10°

pendiente de 10° - 20°

pendiente de 20° - 35°

pendiente de 35° - 50°

pendiente mayor de 50°

ISLA DE MALLORCA

0 10 20 Km

SERRA DE BANYALBUFAR ESTELLENCES PALMA SERRAS CENTRALES SERRAS DE LEVANT

ZONA : ESTELLENCES-BANYALBUFAR

MAPA DE PENDIENTES.

Mapa nº 4

TESIS DOCTORAL : Estudio de los movimientos de ladera en el litoral de la Serra de Tramuntana (Mallorca).

AUTORA: Rosa María Mateos Ruiz  
AÑO: 2000



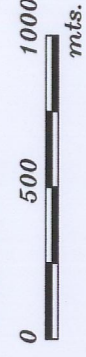
# MAPA DE PERMEABILIDADES.

ZONA ESTELLENCES - BANYALBUFAR. Escala 1:25,000

# Rosa María Mateos Ruiz








ESCALA GRÁFICA:



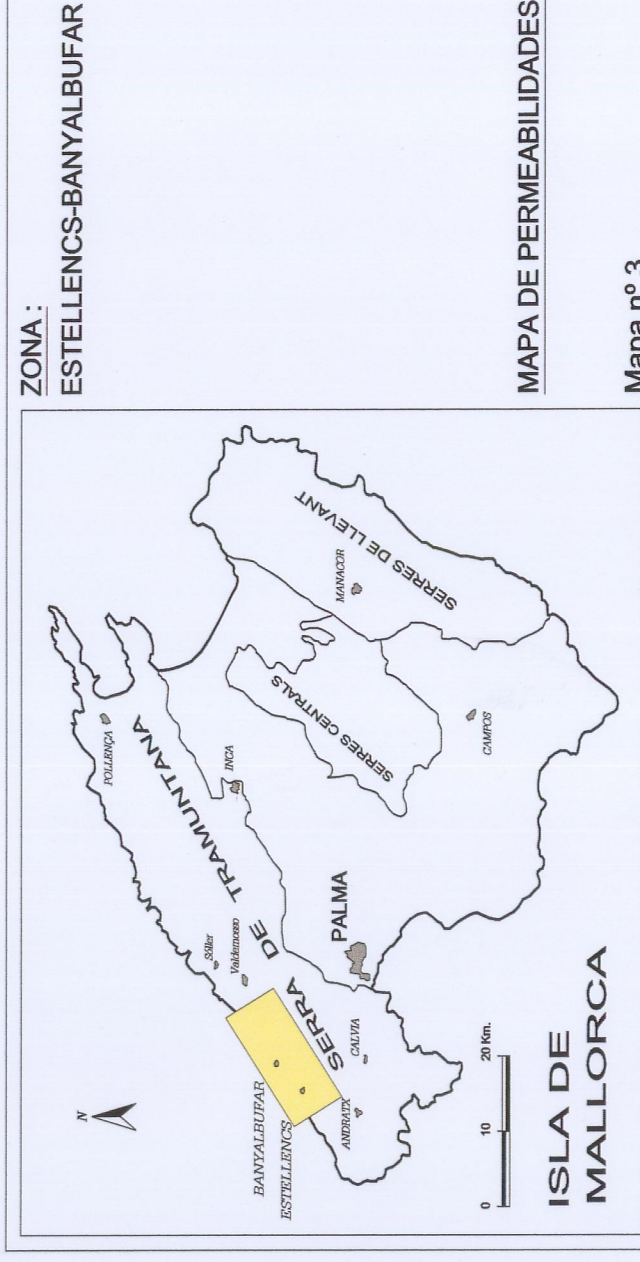
Base topográfica: I.G.N.

**LEYENDA :**

- |  |  | Pozo, nº de inventario I.T.G.E             |
|--|---|--|
| Terrenos permeables por fisuración y/o karstificación (acuíferos calizo-dolomíticos) |  |  |
| Terrenos permeables por porosidad (acuíferos cuaternarios)                           |  | Fuente/manantial, nº de inventario I.T.G.E |
| Terrenos de permeabilidad media-baja (acuitados)                                     |  |  |
| Terrenos de muy baja permeabilidad   |  |  |

Pozo, nº de inventario I.T.G.E

Fuente/manantial, nº de inventario I.T.G.E



TESIS DOCTORAL :

Estudio de los movimientos de ladera en el litoral de la Serra de Tramuntana (Mallorca).

**AUTORA:** Rosa María Mateos Ruiz  
**AÑO:** 2000

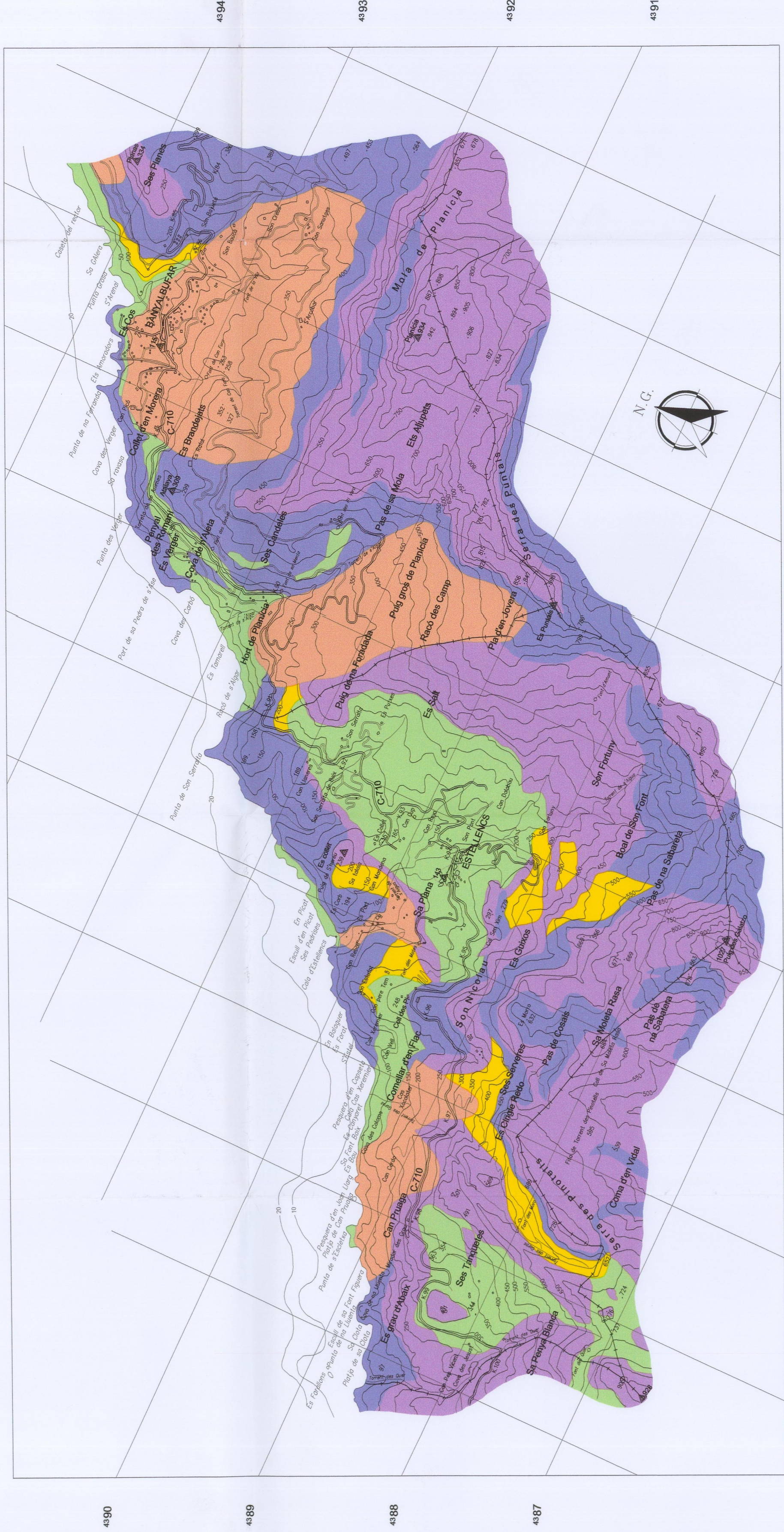


# MAPA LITOLÓGICO - GEOTÉCNICO.

## ZONA ESTEL·LENCES - BANYALBUFAR

Escala 1:25,000

# Rosa María Mateos Ruiz








ESCALA GRÁFICA :

Base topográfica : I.G.N.

**LEYENDA:**

## CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA

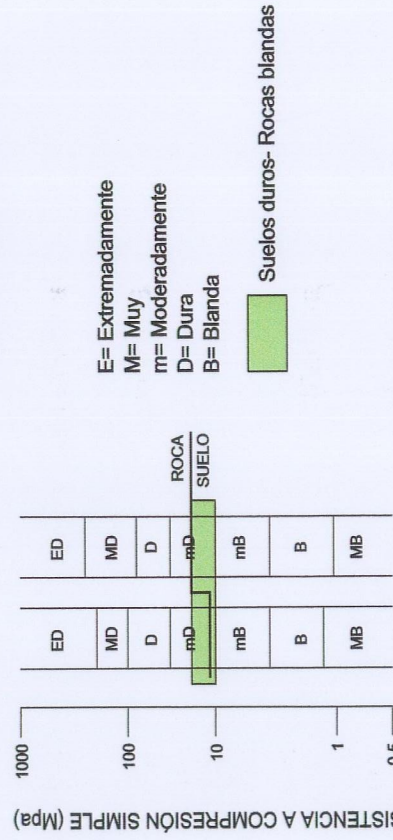
- |   |   |
|---|---|
|  | Suelos muy blandos (MB) y extremadamente blandos (EB) |
|  | Suelos moderadamente blandos (mB) y blandos (B)       |
|  | Rocas blandas   |
|  | Rocas blandas - moderadamente duras (mD)              |
|  | Rocas moderadamente duras (mD) - rocas duras (D)      |

## LITOLOGÍA Y EDAD

- Sedimentos aluviales y aluviales del Holoceno
- Areniscas del Buntsandstein
- Margas y calcarenitas del Dogger - Malm y Cretácico
- Margas y calcarenitas de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar (Burdigallense - Langhiese)
- Dolomías tabulares y carníolas del Rethienense
- Dolomías tabulares del Muschelkalk
- Brechas dolomíticas y calizas del Lias
- Brechas y conglomerados de la Fm. Calcarenítica de Sant Elm (Aquitaniense - Burdigalense)
- Depósitos coluviales antiguos del Pleistoceno

## CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA

(Modificado de De Freitas, 1992)



(A) - Geol. Soc. London  
(B) - ISRM

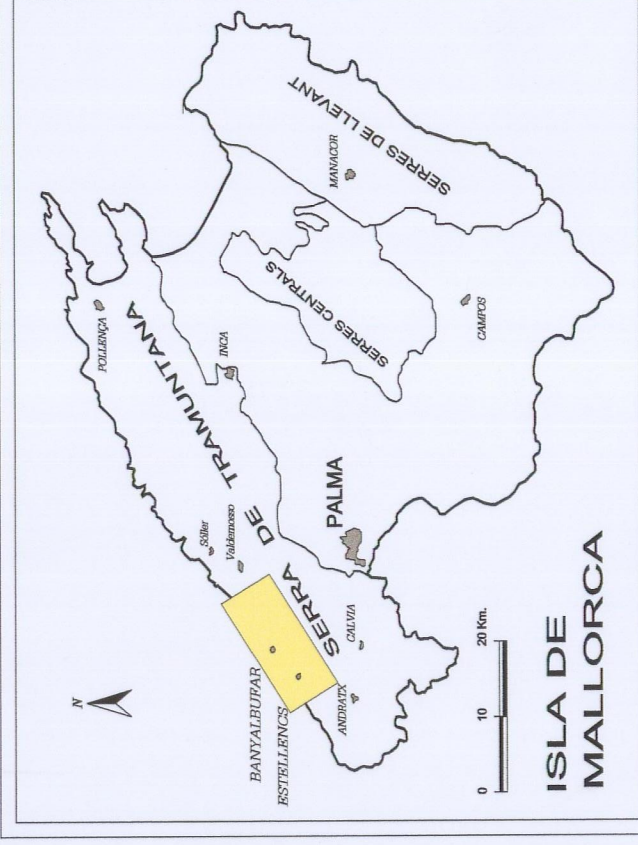
TESIS DOCTORAL:

Estudio de los movimientos de ladera en el litoral de la Serra de Tramuntana (Mallorca).

AUTORA: Rosa María Mateos Ruiz  
AÑO: 2000

## ZONA:

ESTELLENCES-BANYALBUFAR



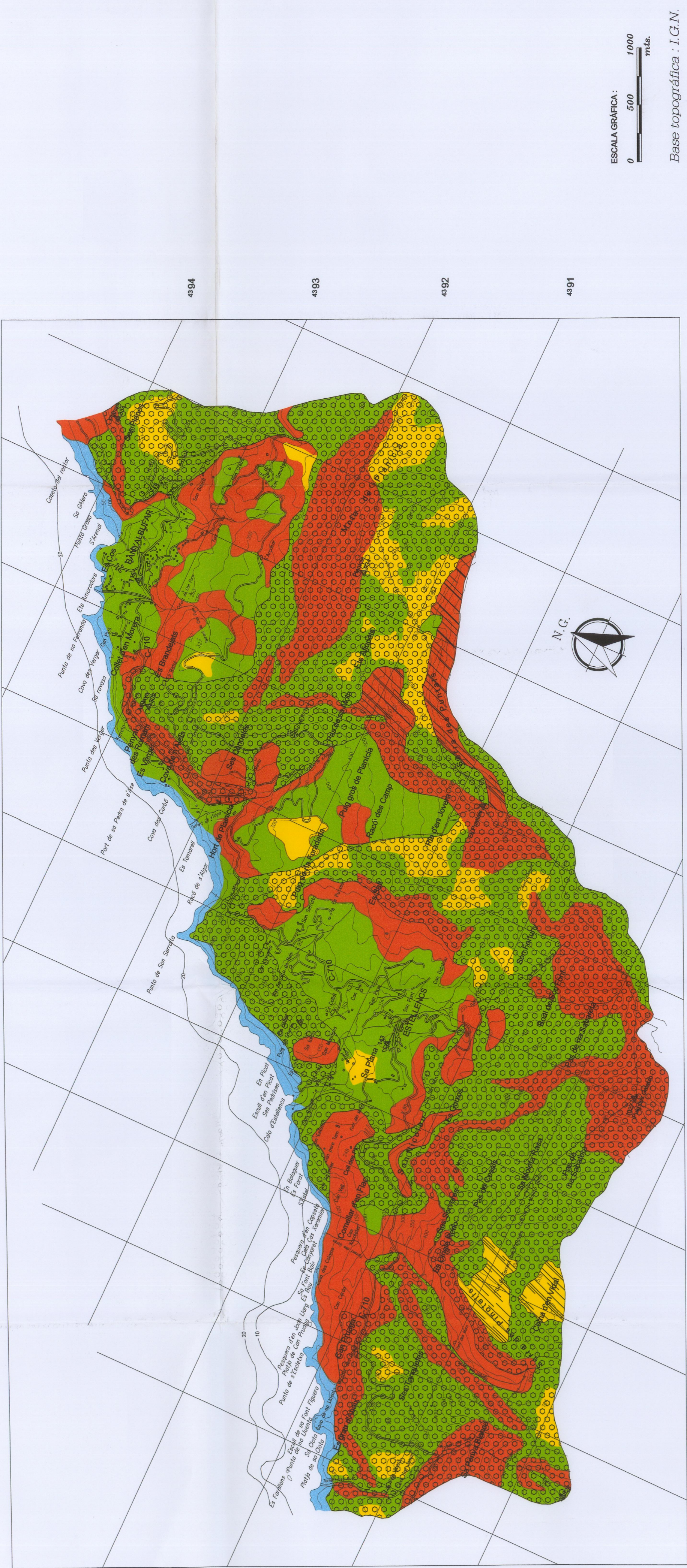
MAPA LITOLÓGICO-GEOTÉCNICO.




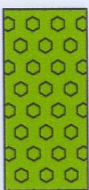






Mapa n° 2

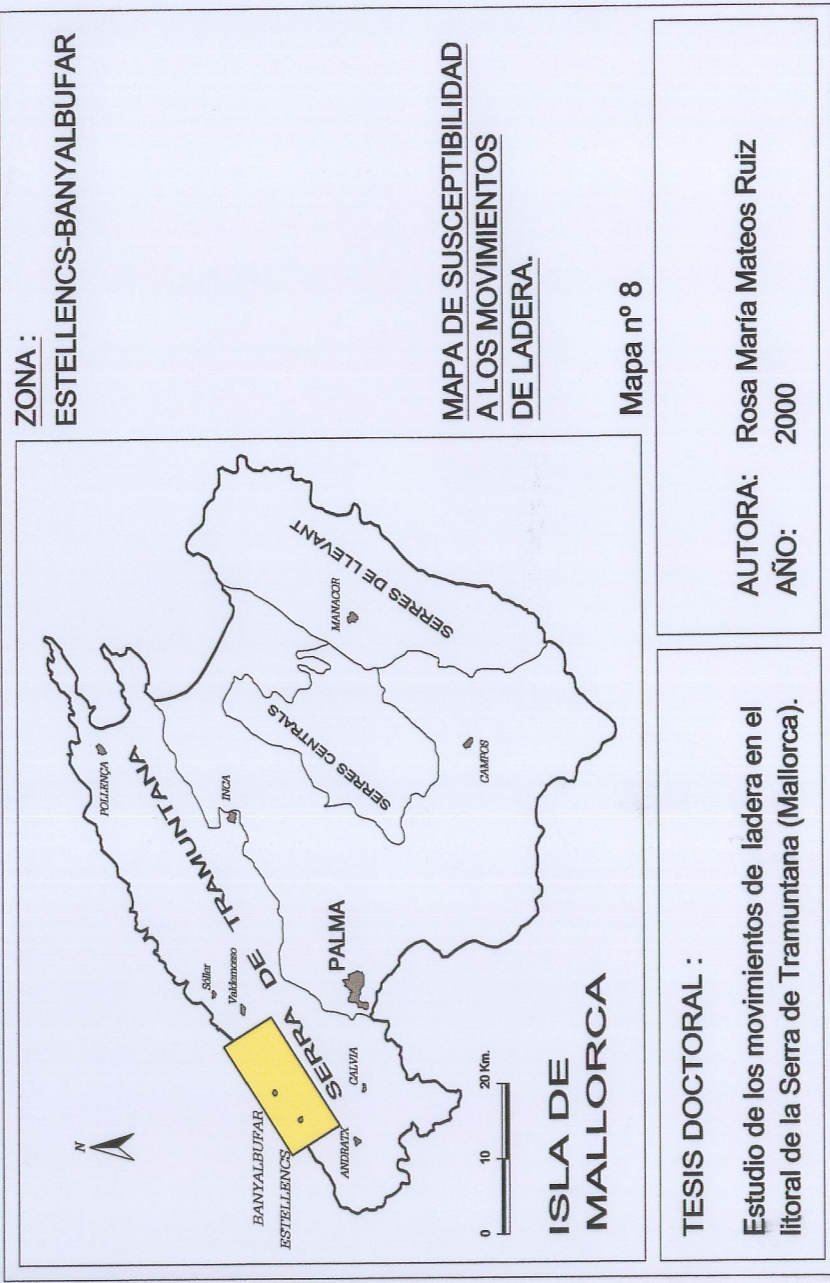


MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA.      ZONA ESTELLENCES - BANYALBUFAR      Escala 1:25,000

Rosa María Mateos Ruiz



LEYENDA :		Desprendimientos rocosos (DR)	Deslizamientos en rocas (SR)	Deslizamientos en suelos (DCS)
	SUSCEPTIBILIDAD ALTA	 <p>Rocas duras y moderadamente duras, con planos de discontinuidad muy marcados, permeables por fisuración. Pendientes &gt;35°, asociados generalmente a frentes rocosos de calizas.</p>	 <p>Rocas duras en contacto con rocas más blandas. Asociados a planos de discontinuidad muy marcados. Pendientes &gt;35°.</p>	 <p>Materiales con comportamiento de suelos. Depósitos coluviales sobre materiales impermeables del Keuper y/o Burdigallense. Alteración superficial elevada. Pendientes &gt;35°.</p>
	SUSCEPTIBILIDAD MEDIA	 <p>Materiales rocosos, con un grado medio de fracturación. Pendientes: 20°-35°.</p>	 <p>Rocas moderadamente duras. Presencia de contactos geológicos. Grado medio de fracturación. Pendientes: 10°-35°.</p>	 <p>Suelos y rocas blandas con un grado de alteración superficial media. Permeabilidad media por porosidad. Pendientes: 10°-35°.</p>
	SUSCEPTIBILIDAD BAJA	 <p>Afloramientos rocosos masivos, sin planos de discontinuidad. Pendientes &lt;20°.</p>	 <p>Rocas blandas. Grado bajo de fracturación. Ausencia de contactos geológicos. Pendientes &lt;10°.</p>	 <p>Rocas blandas. Grado de alteración superficial bajo. Permeabilidad por porosidad. Pendientes &lt;10°.</p>
	Acanitilados activos.			



TESIS DOCTORAL :  
Estudio de los movimientos de ladera en el litoral de la Serra de Tramuntana (Mallorca).

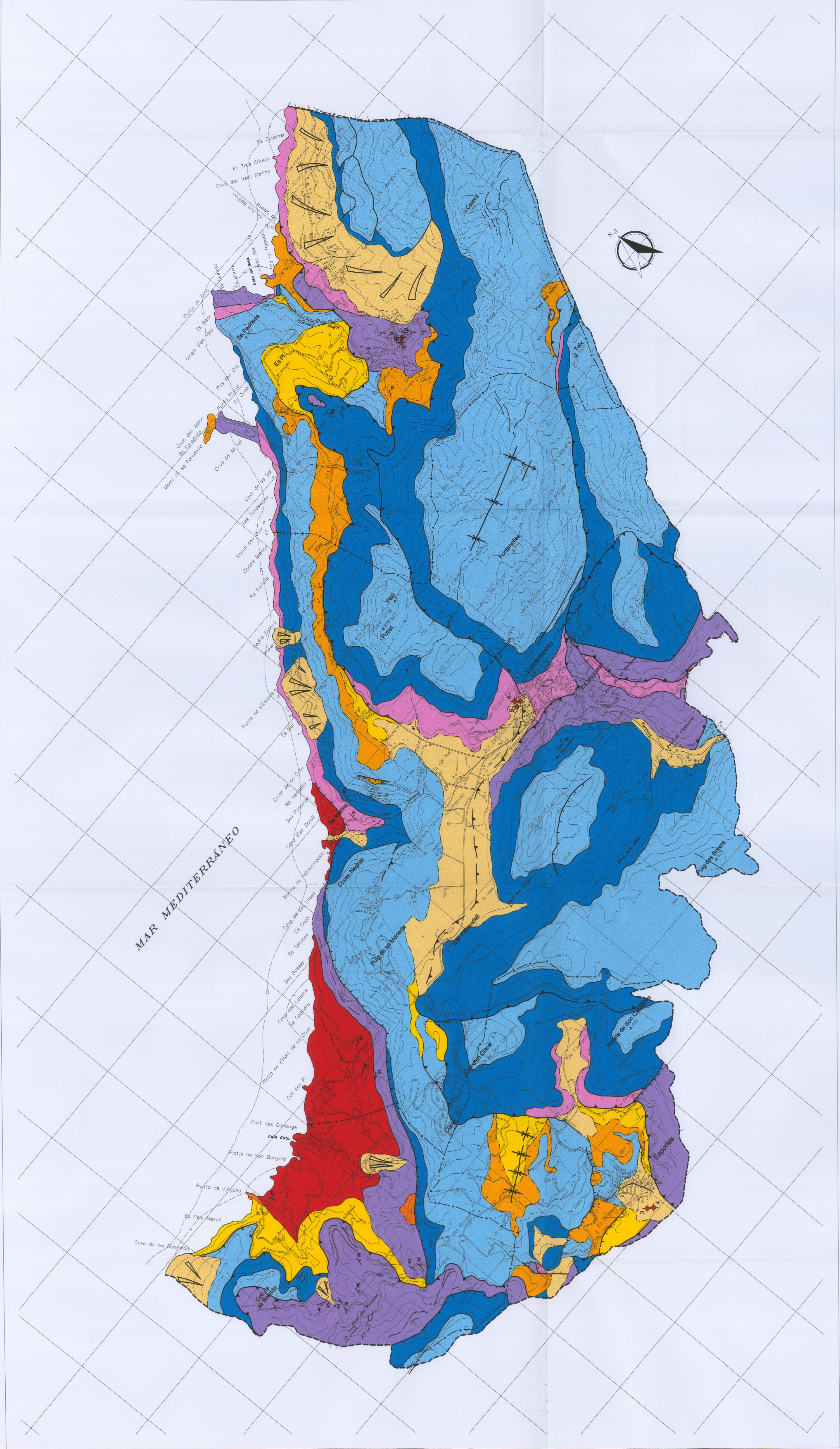
AUTORA: Rosa María Mateos Ruiz  
AÑO: 2000



**ZONA**

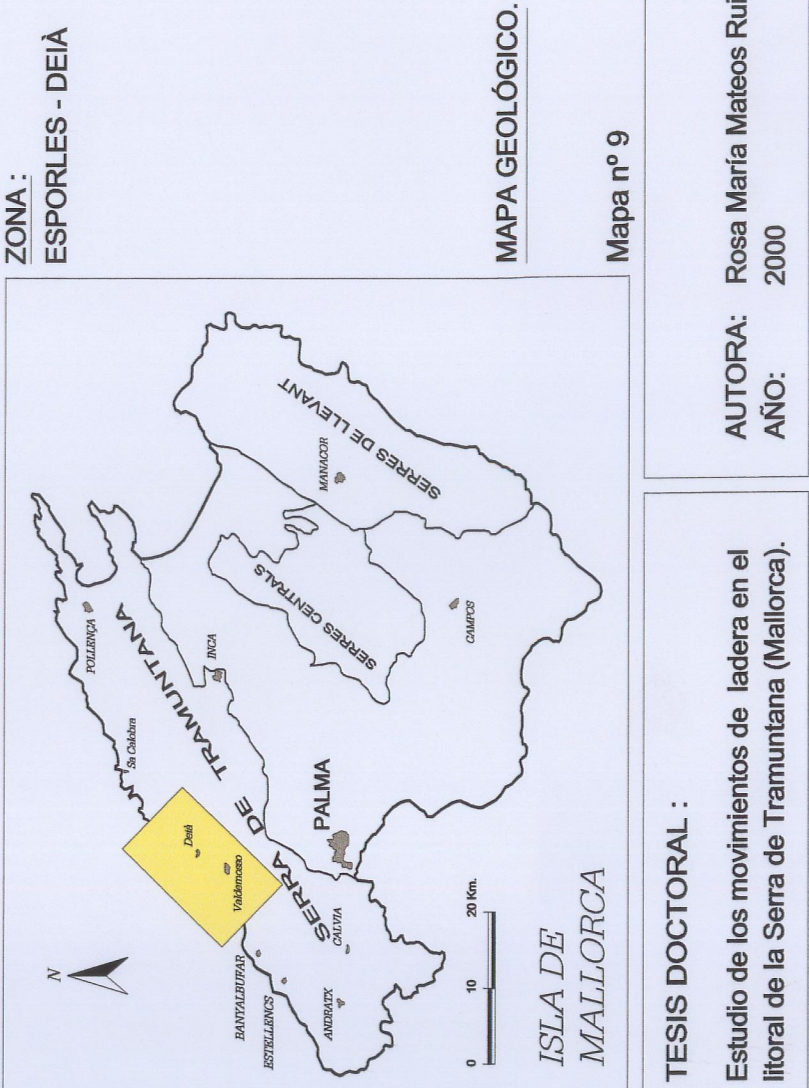
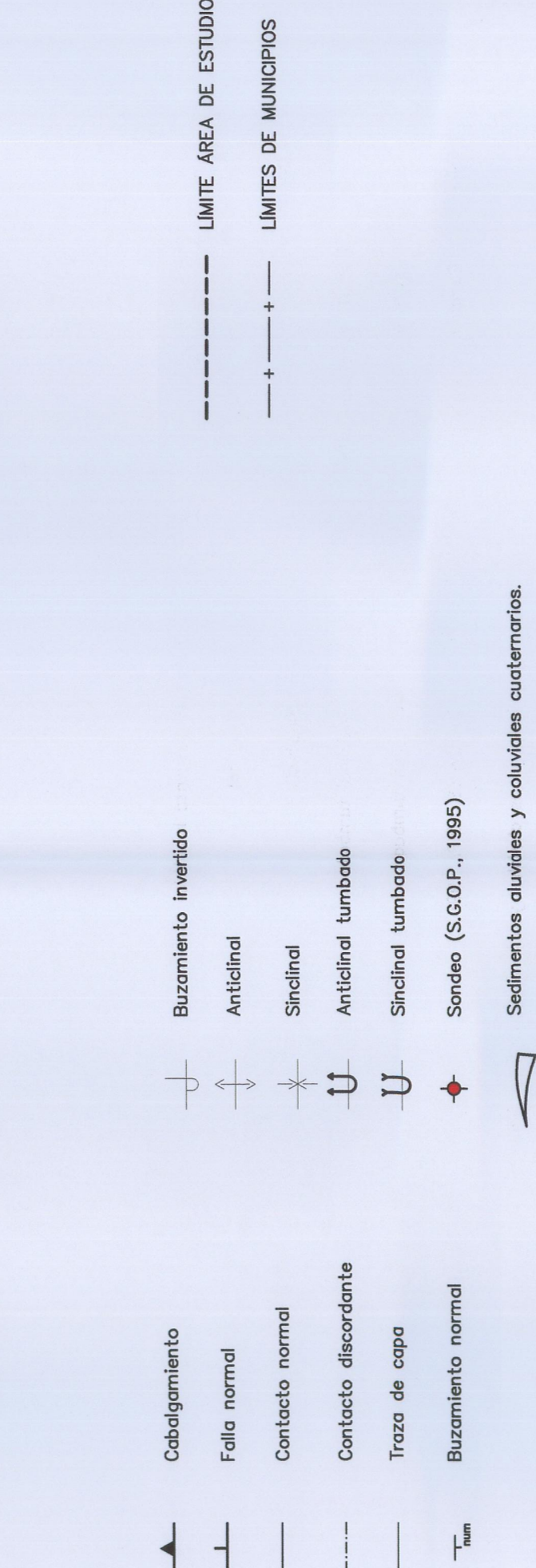
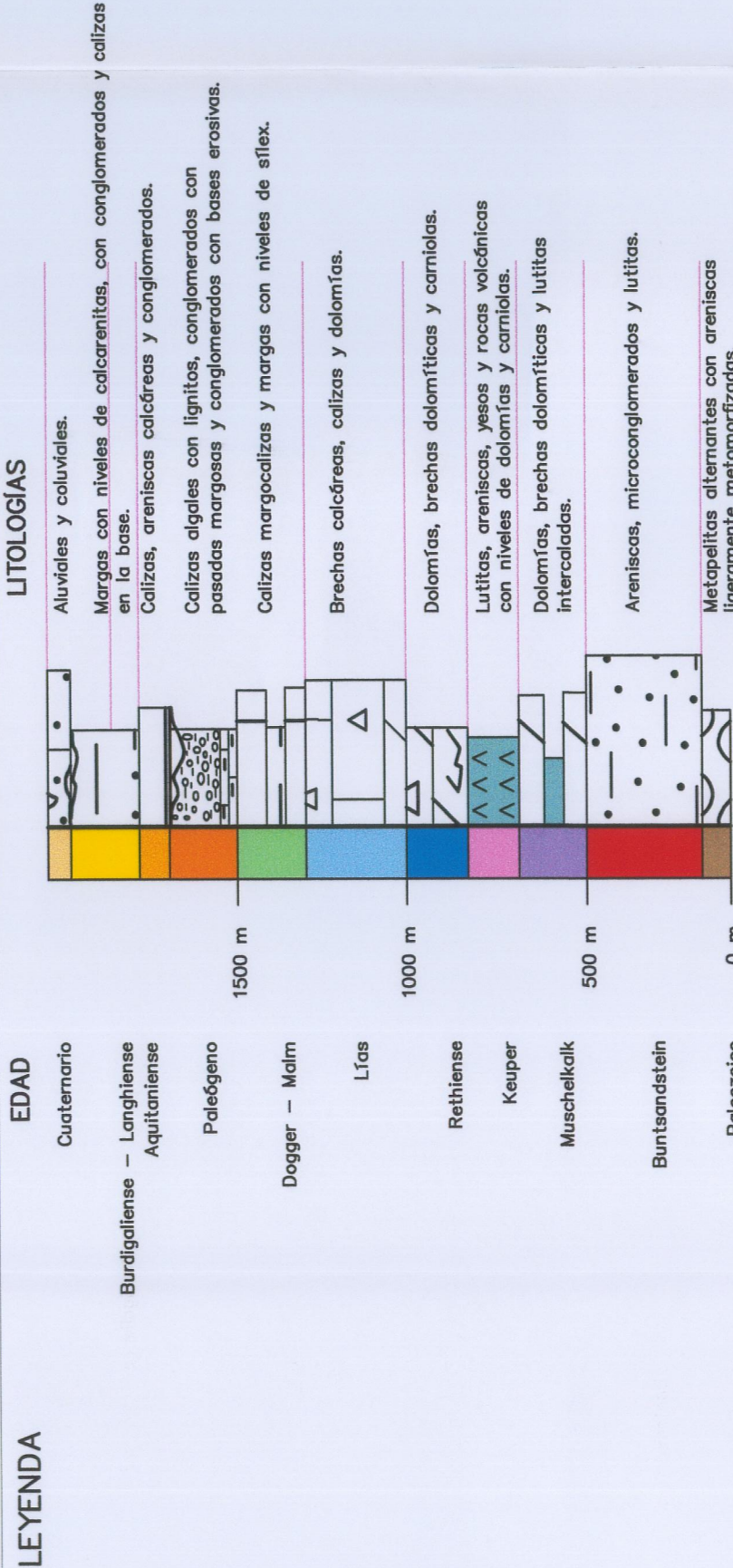
**ESPORLES - DEIÁ**



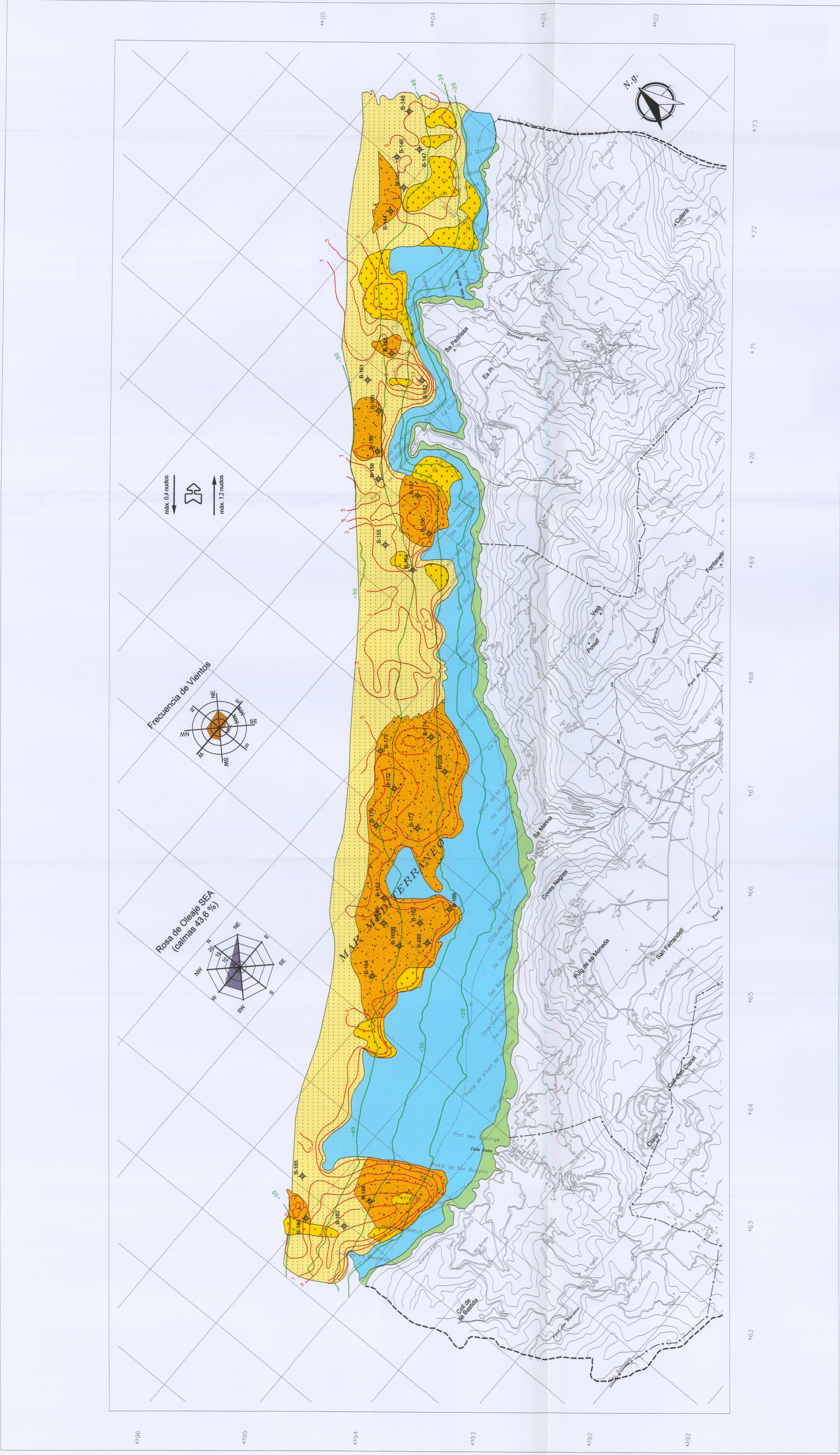


ESCALA GRÁFICA:  
0 500 1000  
més.

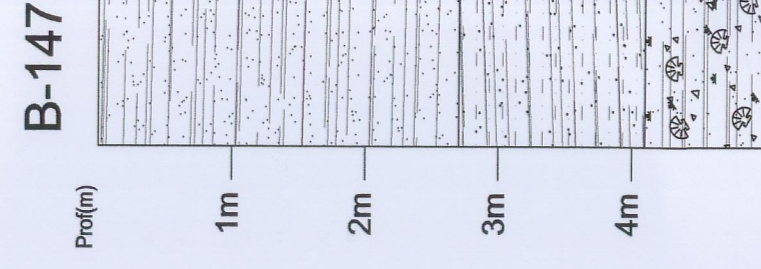
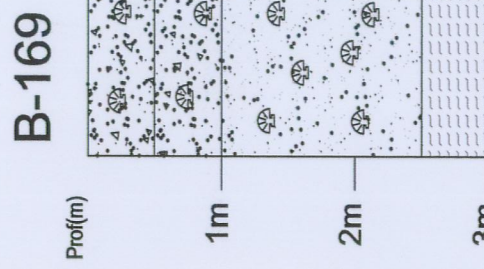
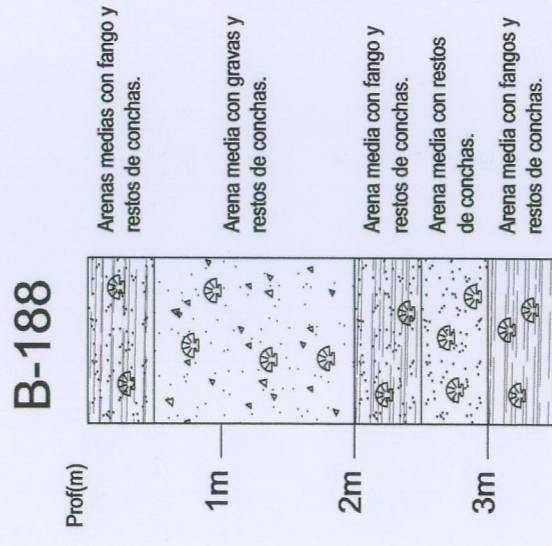
Base topográfica . I.G.N.







- LEYENDA :
- ISOBATAS. Referidas al nivel medio del mar en la Isla de Mallorca.
  - ISOPACAS. Espesor de sedimentos recientes no consolidados
  - Aforamiento rocoso.
  - Acumulación de grandes bloques.
  - Gravas y arenas gruesas.
  - Arenas medias y finas.
  - Praderas vegetales (*Posidonia* ).
  - Corrientes de Gradiente
  - Corriente General del Mediterráneo.



Sondeo de reconocimiento.  
(MOPIT, Dirección General de Costas, 1993)

ZONA :  
ESPORLES - DEIÀ

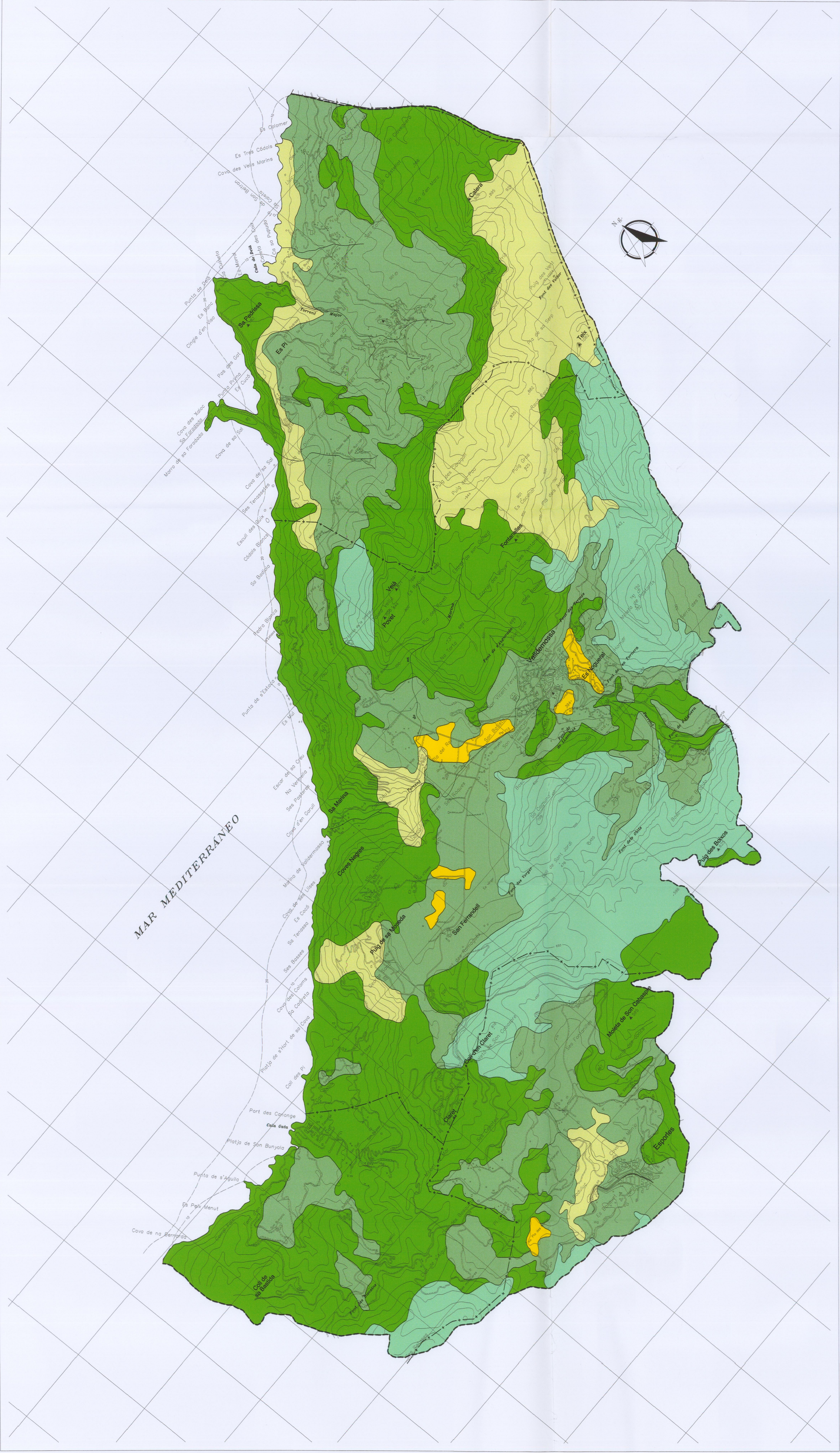
MAPA DE DINÁMICA Y  
SEDIMENTACIÓN LITORAL

Mapa nº 15

TESIS DOCTORAL :  
Estudio de los movimientos de ladera en el  
litoral de la Serra de Tramuntana (Mallorca).

AUTORA: Rosa María Mateos Ruiz  
AÑO: 2000





ESCALA GRÁFICA:  
0 500 1000  
mts.  
Base topográfica : I.G.N.

LEYENDA

Matorral (Com. *Rosmarino-Ericion*). Ocasionalmente *Pinus halepensis*.

Pinar denso de *Pinus halepensis*, localmente con Encinar (*Quercus ilex*).

Encinar (*Quercus ilex*), localmente con Pinar (*Pinus halepensis*).

Olivar en secano (*Olea europaea*).Algarrobos (*Ceratonia siliqua*). Almendros (*Amigdalus communis*). Aterrazamiento (màrges).

Pequeños huertos. Aterrazamiento (màrges).

ZONA : ESPORLES - DEIÀ

MAPA DE VEGETACIÓ.

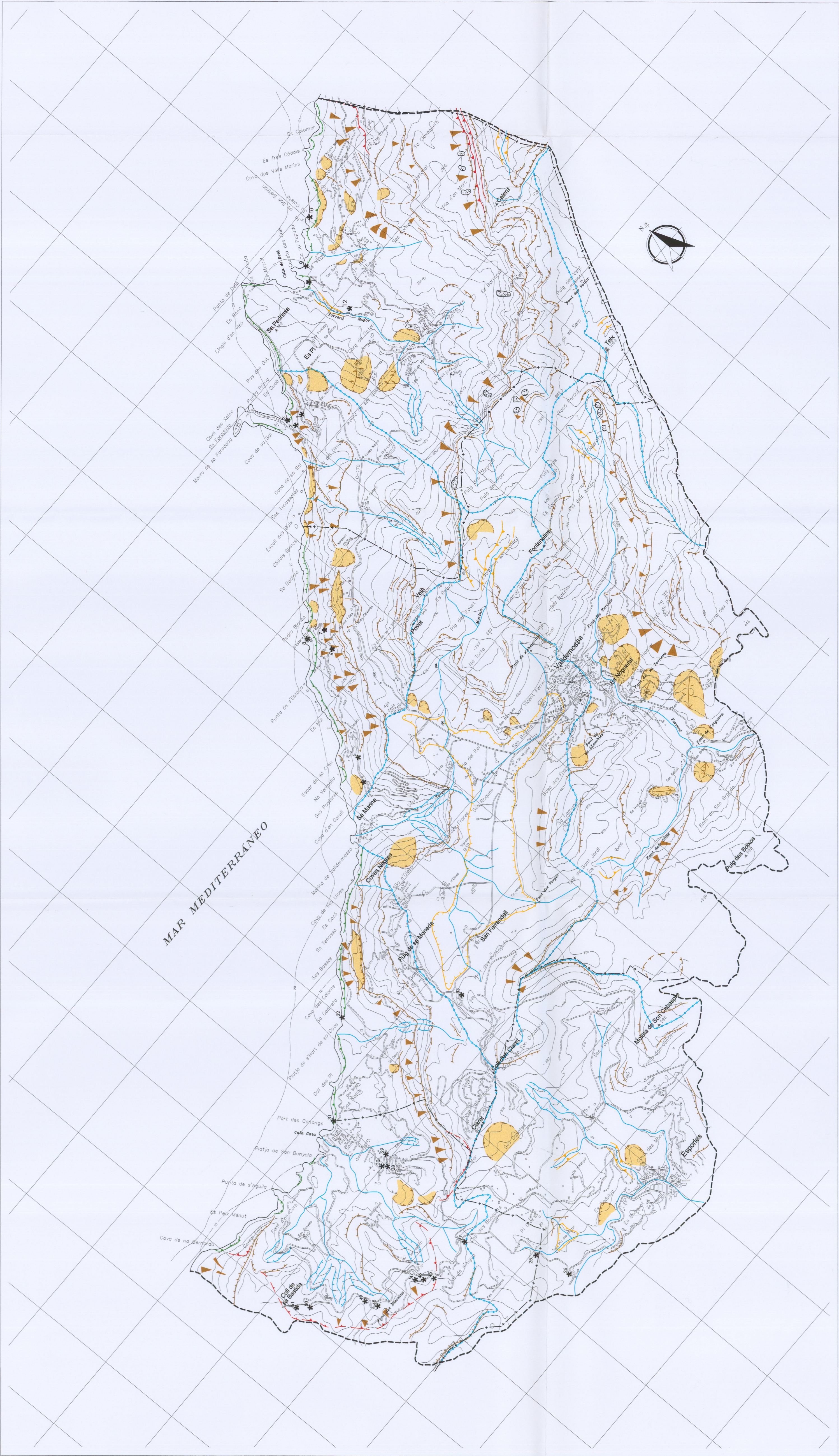
Mapa n.º 14

TESIS DOCTORAL :  
Estudio de los movimientos de ladera en el litoral de la Serra de Tramuntana (Mallorca).

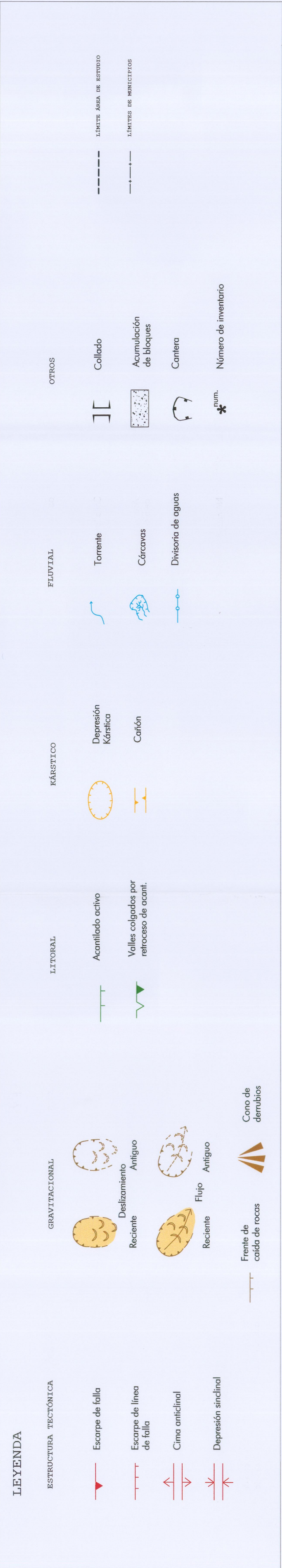
AUTORA: Rosa María Mateos Ruiz  
AÑO: 2000



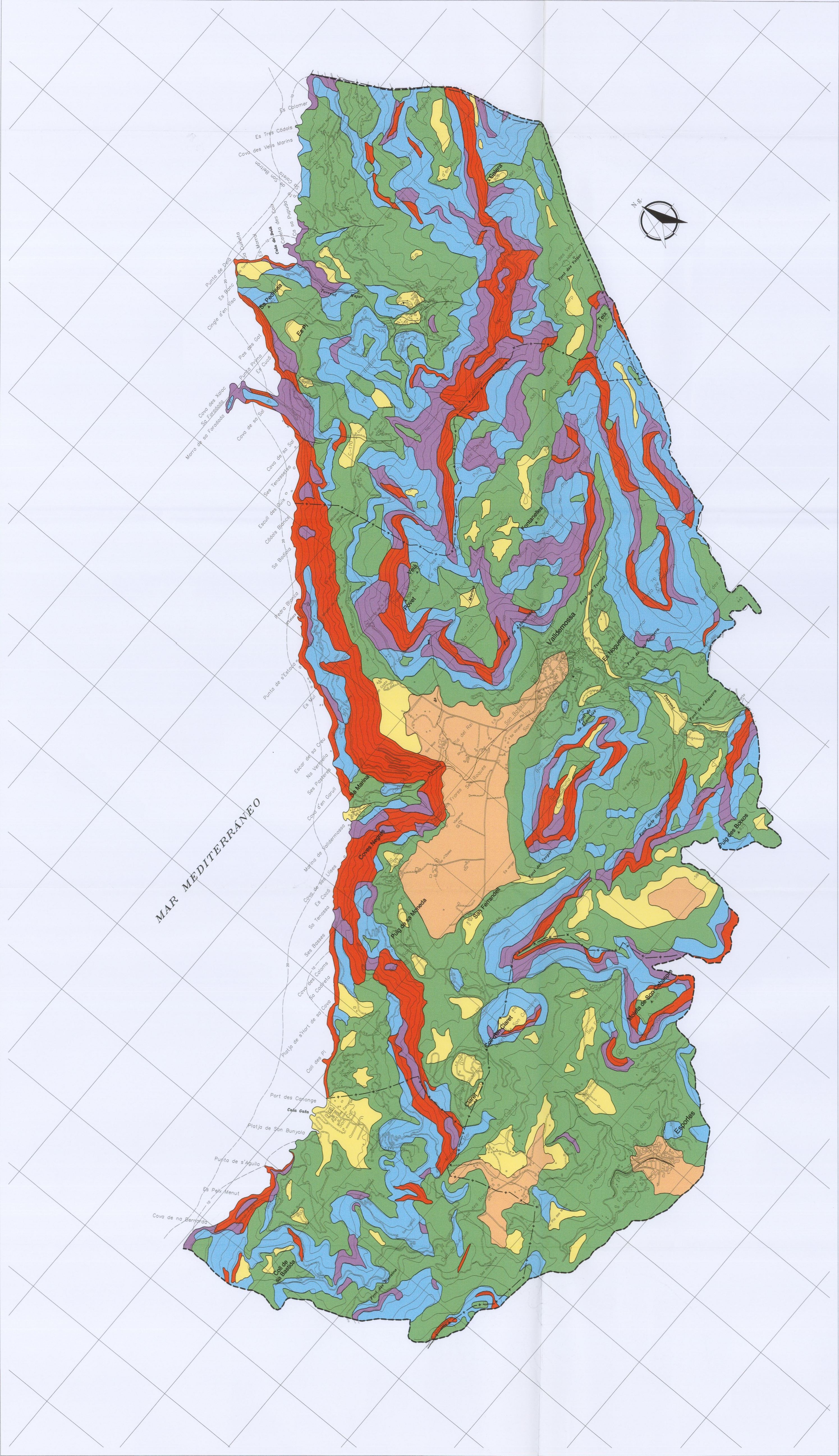
Rosa María Mateos Ruiz



ESCALA GRÁFICA:  
0 500 1000  
mts.  
Base topográfica : I.G.N.







ESCALA GRÁFICA:  
0 500 1000  
mts.

Base topográfica : I.G.N.

ZONA : ESPORLES- DEIÀ

MAPA DE PENDIENTES.

Mapa nº 12

TESIS DOCTORAL : Estudio de los movimientos de ladera en el litoral de la Serra de Tramuntana (Mallorca).

AUTORA: Rosa María Mateos Ruiz

AÑO: 2000

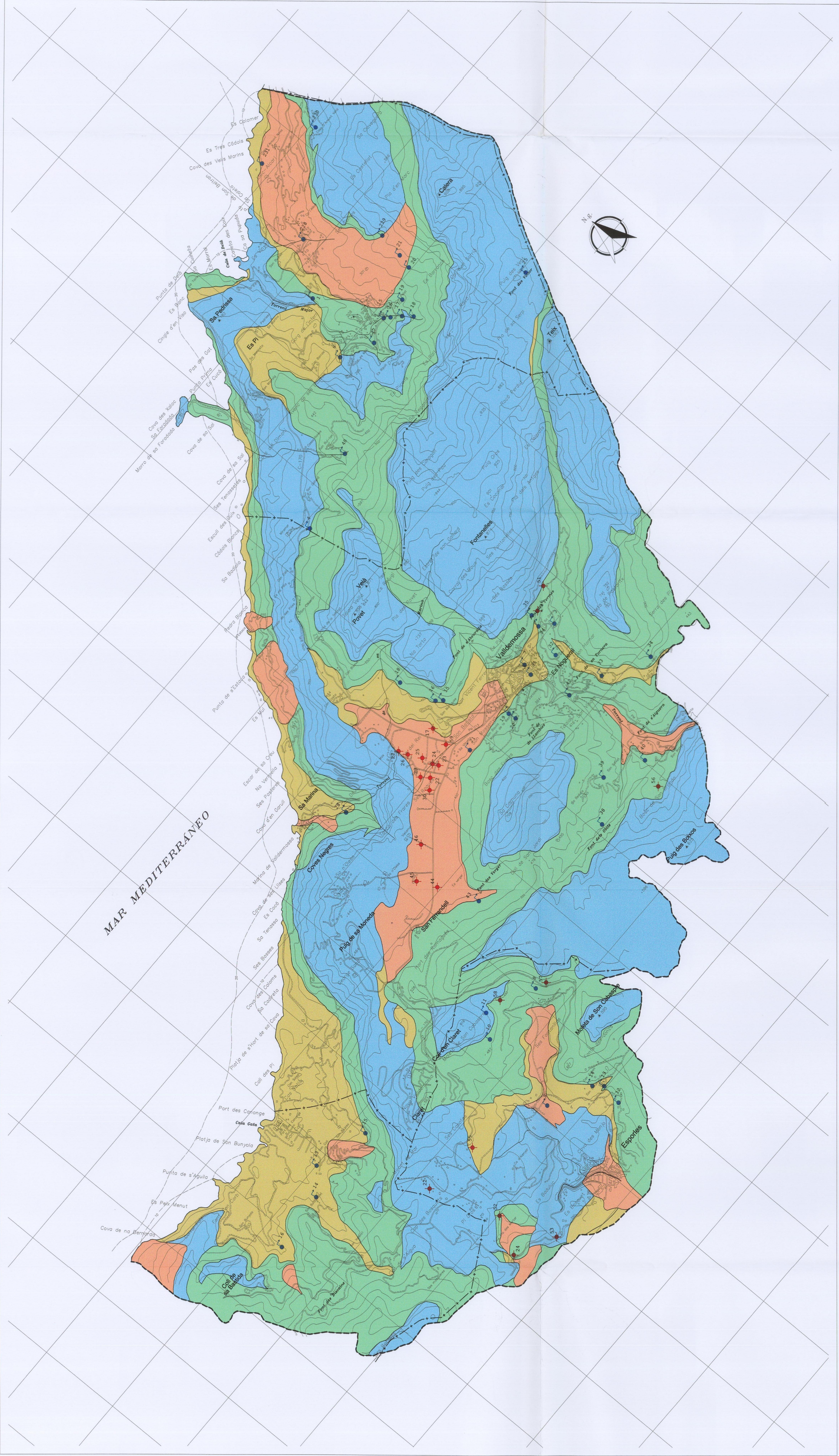
LEYENDA

	Pendientes inferiores a 5°.		Pendientes comprendidas entre 20° y 35°.
	Pendientes comprendidas entre 5° y 10°.		Pendientes comprendidas entre 35° y 50°.
	Pendientes comprendidas entre 10° y 20°.		Pendientes superiores a 50°.

--- LIMITE AREA DE ESTUDIO

- - - - - LIMITES DE MUNICIPIOS





ESCALA GRÁFICA:  
0 500 1000  
mts.  
Base topográfica : I.G.N.

LEYENDA

- Terrenos permeables por fisuración y/o karstificación (acuíferos calizo-dolomíticos).
- Terrenos permeables por porosidad (acuíferos cuaternarios).
- Terrenos de permeabilidad media-baja (acuitados).
- Terrenos de muy baja permeabilidad.

- Pozo, nº de inventario (I.T.G.E.)
- Manantial, nº de inventario (I.T.G.E.)

ZONA : ESPORLES- DEIÀ

MAPA DE PERMEABILIDADES.

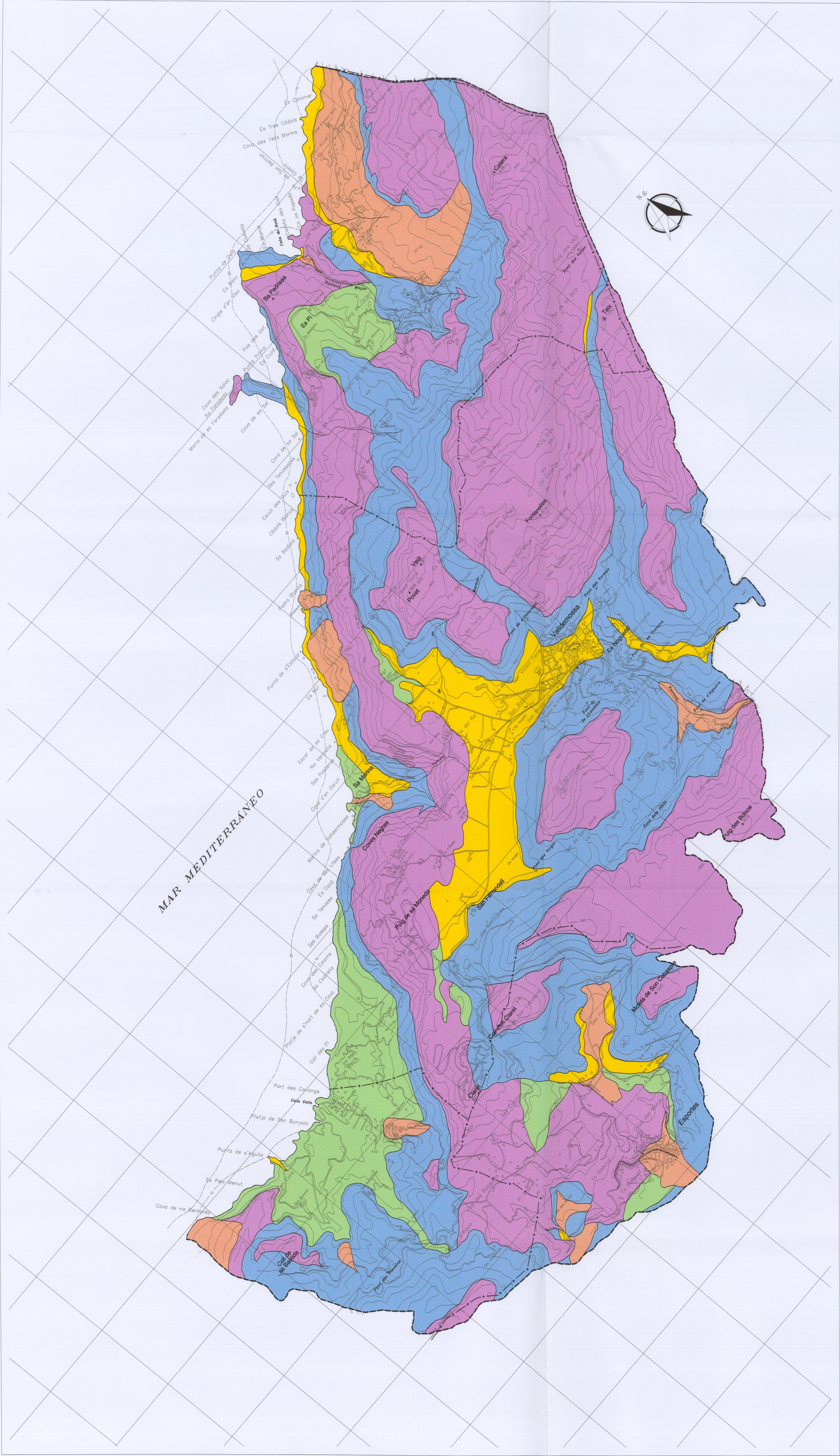
Mapa nº 11

TESIS DOCTORAL : Estudio de los movimientos de ladera en el litoral de la Serra de Tramuntana (Mallorca).

AUTORA: Rosa María Mateos Ruiz

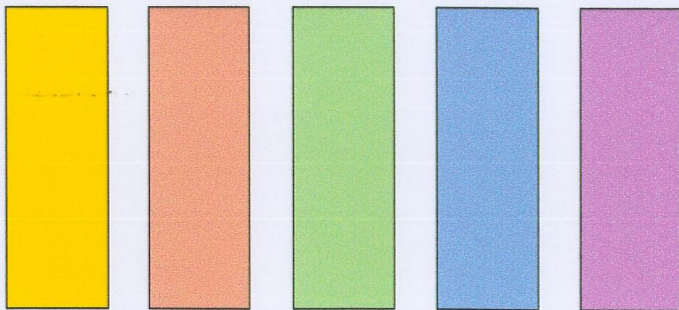
AÑO: 2000





ESCALA GRÁFICA:  
0 500 1000  
més.  
Base topográfica : I.C.N.

LEYENDA



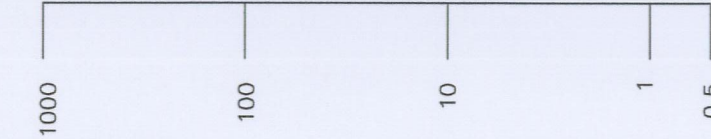
CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA

- Suelos muy blandos (MB) y extremadamente blandos (EB)
- Suelos moderadamente blandos (mB) y blandos (B)
- Rocas blandas
- Rocas blandas-moderadamente duras (mb)
- Rocas moderadamente duras (md) y rocas duras (D)

LITOLOGIA-EDAD

- Suelos arcillosos del Holoceno
- Facies del Keuper alteradas en superficie
- Sedimentos coluviales y aluviales del Holoceno
- Areniscas de Buntsandstein
- Margas y marcozcalizas del Dogger-Malm y Cretácico
- Margas y calcarenitos de la Fm. Turbidítica de Banyalbufar (Burdigaliense-Langhiense)
- Dolomías terrosas y canchales del Rethiense
- Dolomías tabulares del Muschelkalk
- Brechas dolomíticas y calizas del Lías
- Brechas y conglomerados de la Fm. Calcarentífica de Sant Elm (Aquitaniense-Burdigaliense)
- Depositos coluviales antiguos del Pleistoceno
- Conglomerados del Oligoceno

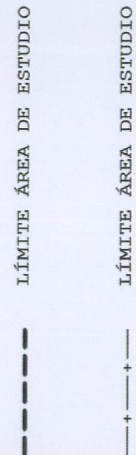
RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)



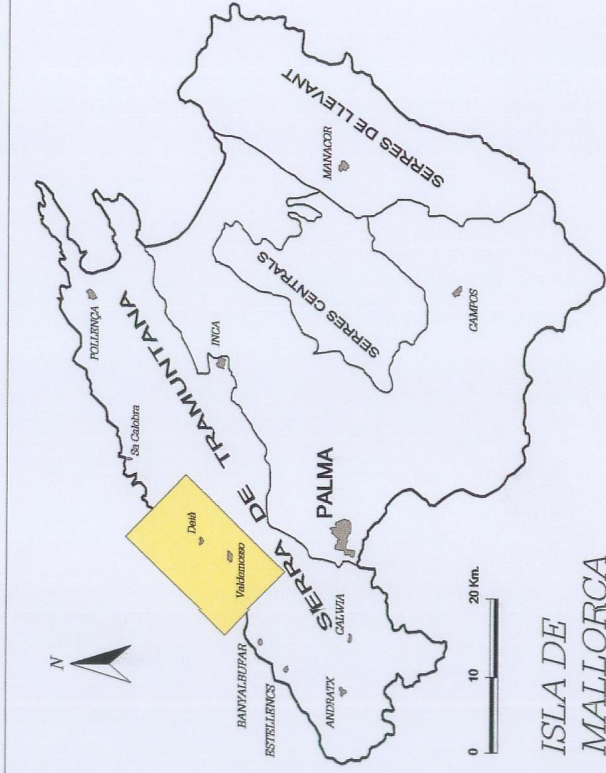
ED	MD	D	mB	B	MB	EB
(A)	(B)	(B)	(B)	(B)	(B)	(B)

CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA  
(modificado de De Freitas, 1992)

- E = Extremadamente
- M = Muy
- m = moderadamente
- D = Dura
- B = Blanda
- Suelos duros-Rocas blandas



ZONA :  
ESPORLES - DEIÀ



MAPA LITOLÓGICO-GEOTÉCNICO.

Mapa n.º 10

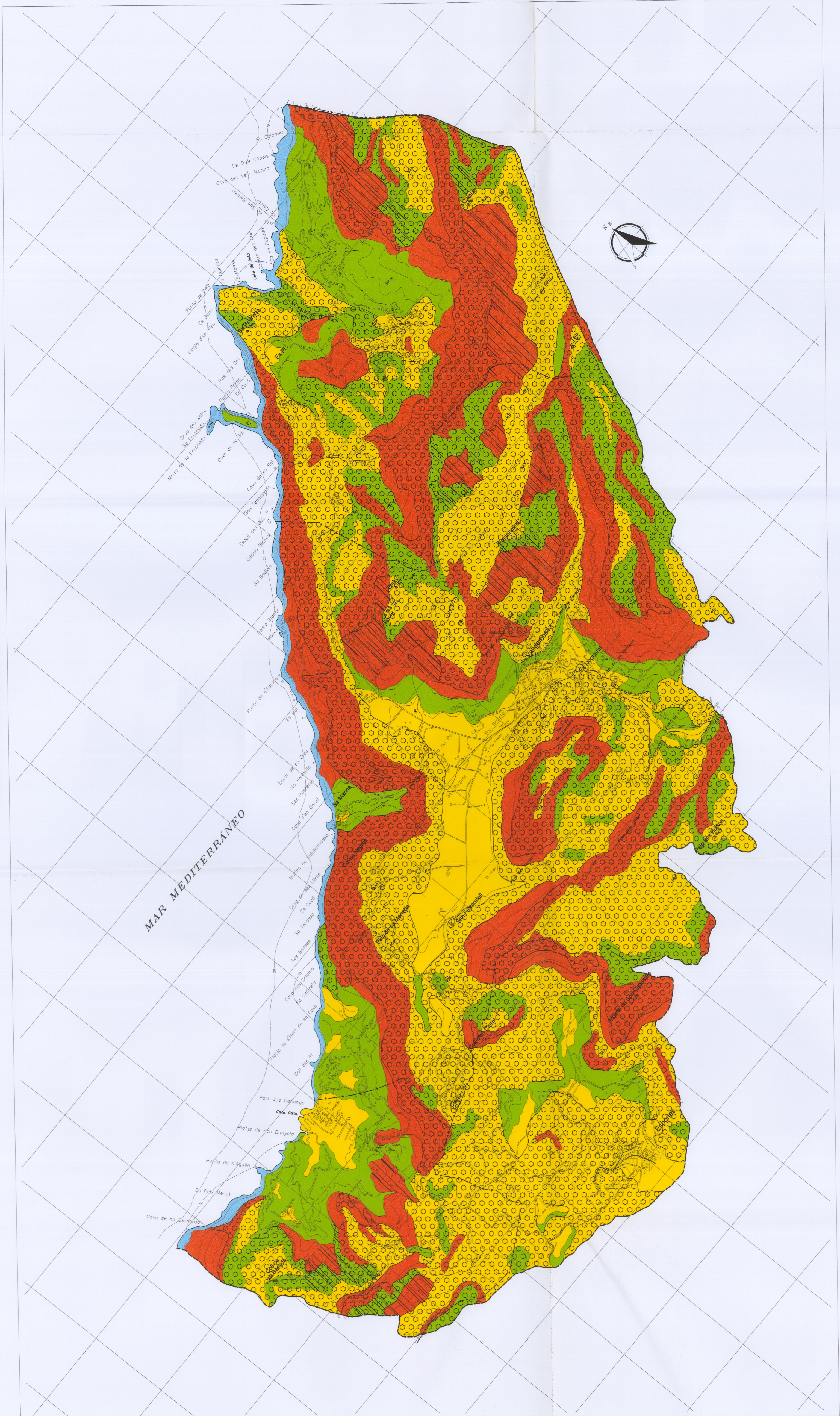
TESIS DOCTORAL :

Estudio de los movimientos de ladera en el litoral de la Serra de Tramuntana (Mallorca).

AUTORA: Rosa María Mateos Ruiz  
AÑO: 2000



Rosa María Mateos Ruiz



ESCALA GRÁFICA:  
0 500 1000  
mts.  
Base topográfica : I.G.N.

**LEYENDA :**

	Desprendimientos rocosos (DR)	Deslizamientos en rocas (SR)	Deslizamientos en suelos (DCS)
<b>SUSCEPTIBILIDAD ALTA</b>	Rocas duras y moderadamente duras, con planos de discontinuidad muy marcados, permeables por fisuración. Pendientes >35°, asociados generalmente a frentes rocosos de calizas.	Rocas duras en contacto con rocas más blandas. Asociados a planos de discontinuidad muy marcados. Pendientes >35°.	Materiales con comportamiento de suelos. Depósitos coluviales sobre materiales impermeables del Keuper y/o Burdigaliense. Alteración superficial elevada. Pendientes >35°.
<b>SUSCEPTIBILIDAD MEDIA</b>	Materiales rocosos, con un grado medio de fracturación. Pendientes: 20°-35°.	Rocas moderadamente duras. Presencia de contactos geológicos. Grado medio de fracturación. Pendientes: 10°-35°.	Suelos y rocas blandas con un grado de alteración superficial media. Permeabilidad media por porosidad. Pendientes: 10°-35°.
<b>SUSCEPTIBILIDAD BAJA</b>	Almacén rocosos masivos, sin planos de discontinuidad. Pendientes <20°.	Rocas blandas. Grado bajo de fracturación. Ausencia de contactos geológicos. Pendientes <10°.	Rocas blandas. Grado de alteración superficial bajo. Permeabilidad por porosidad. Pendientes <10°.

**ZONA :**  
ESPORLES - DEIÀ

**MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA**

Mapa nº 16

**TESIS DOCTORAL :**  
Estudio de los movimientos de ladera en el litoral de la Serra de Tramuntana (Mallorca).

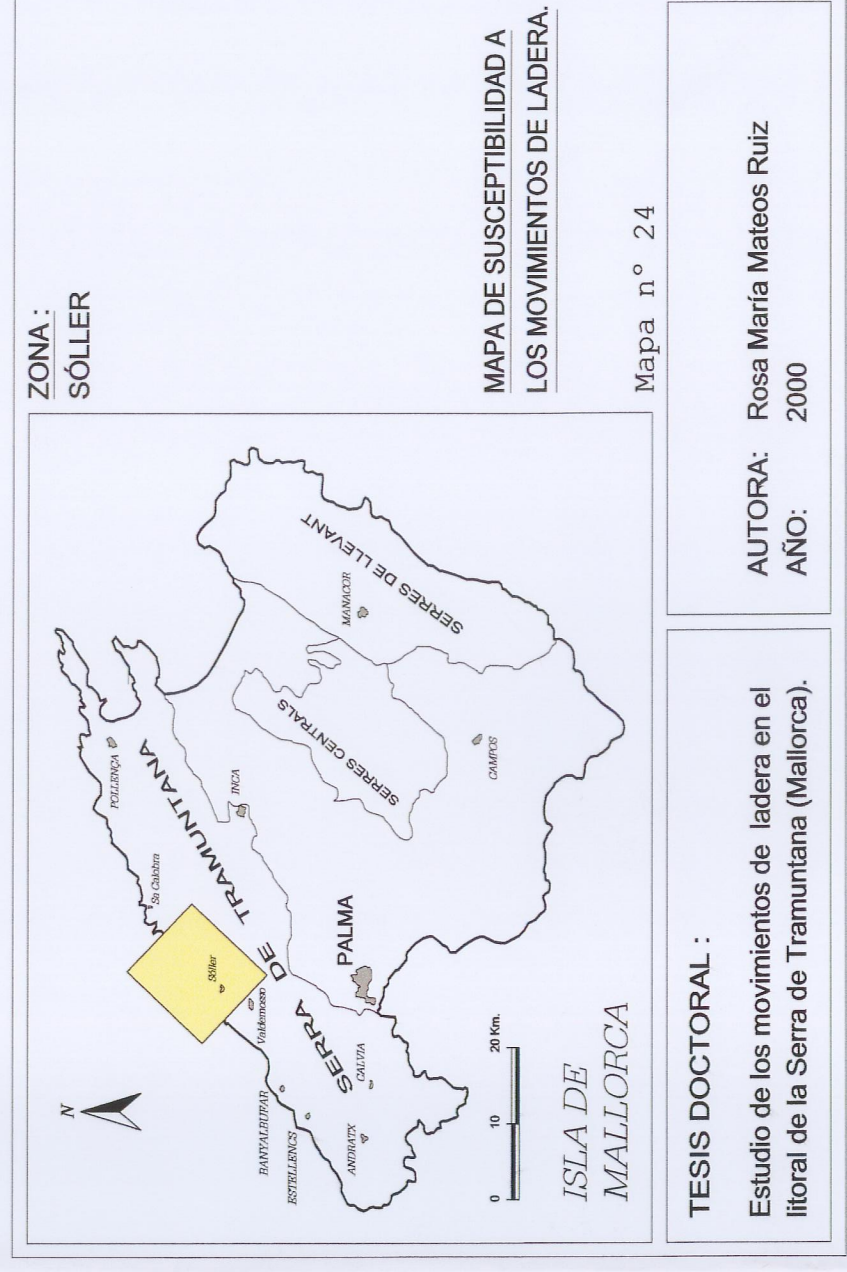
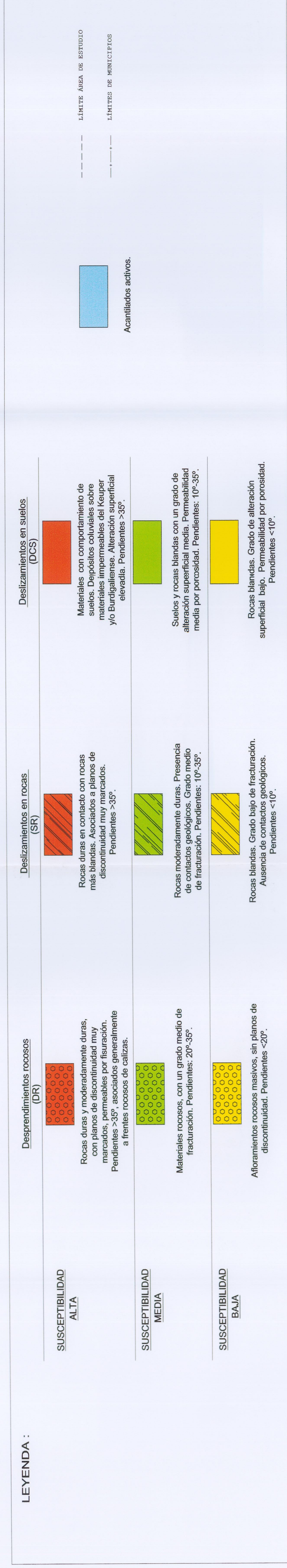
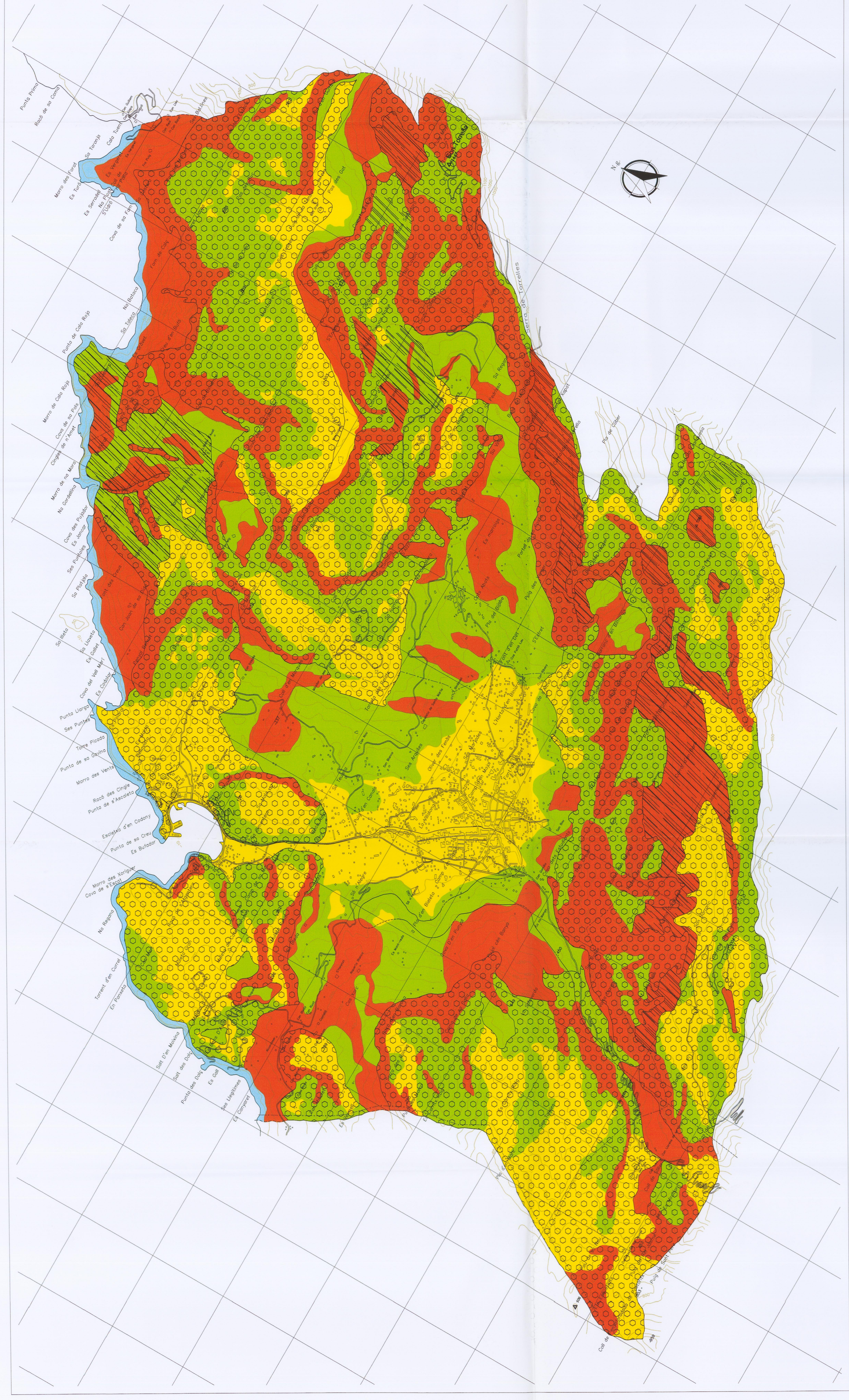
**AUTORA:** Rosa María Mateos Ruiz  
**AÑO:** 2000



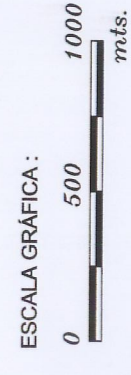
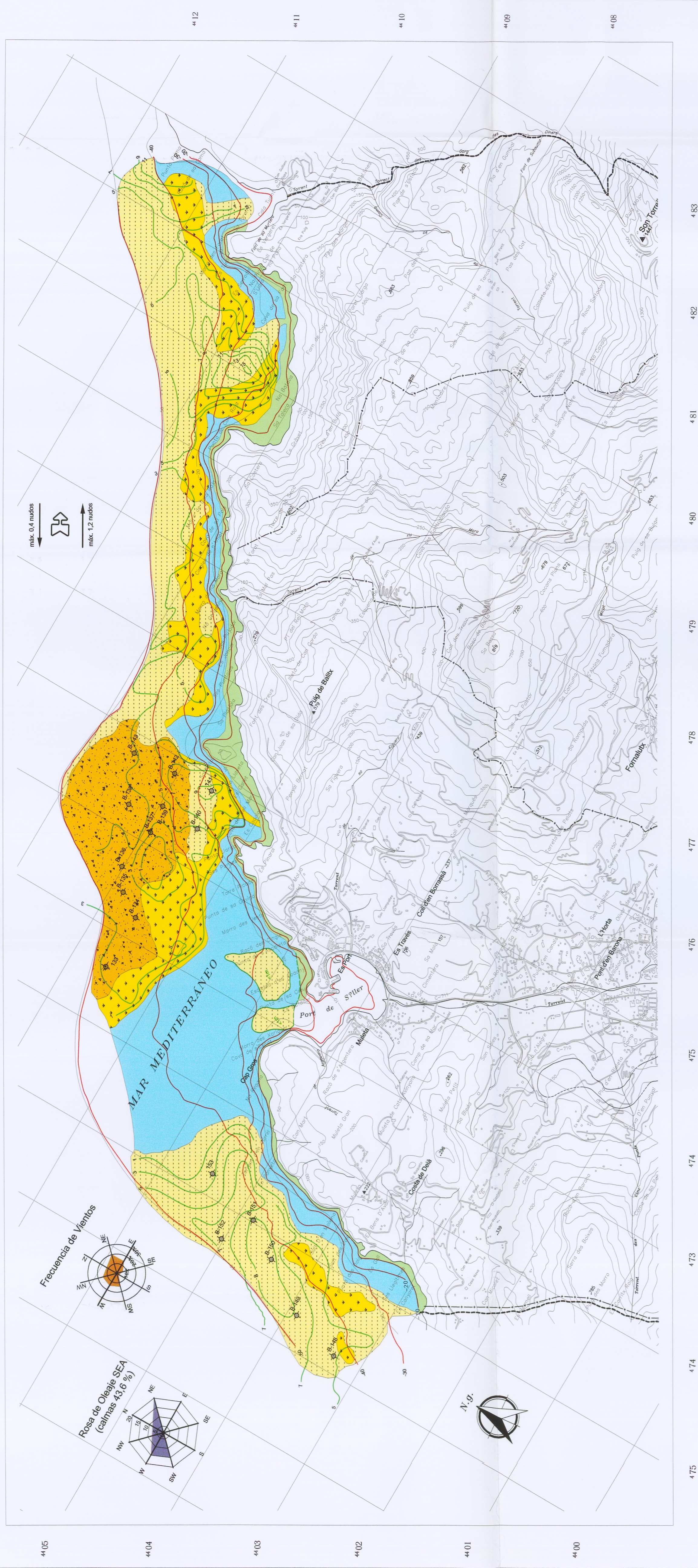
**ZONA**

**SÓLLER**

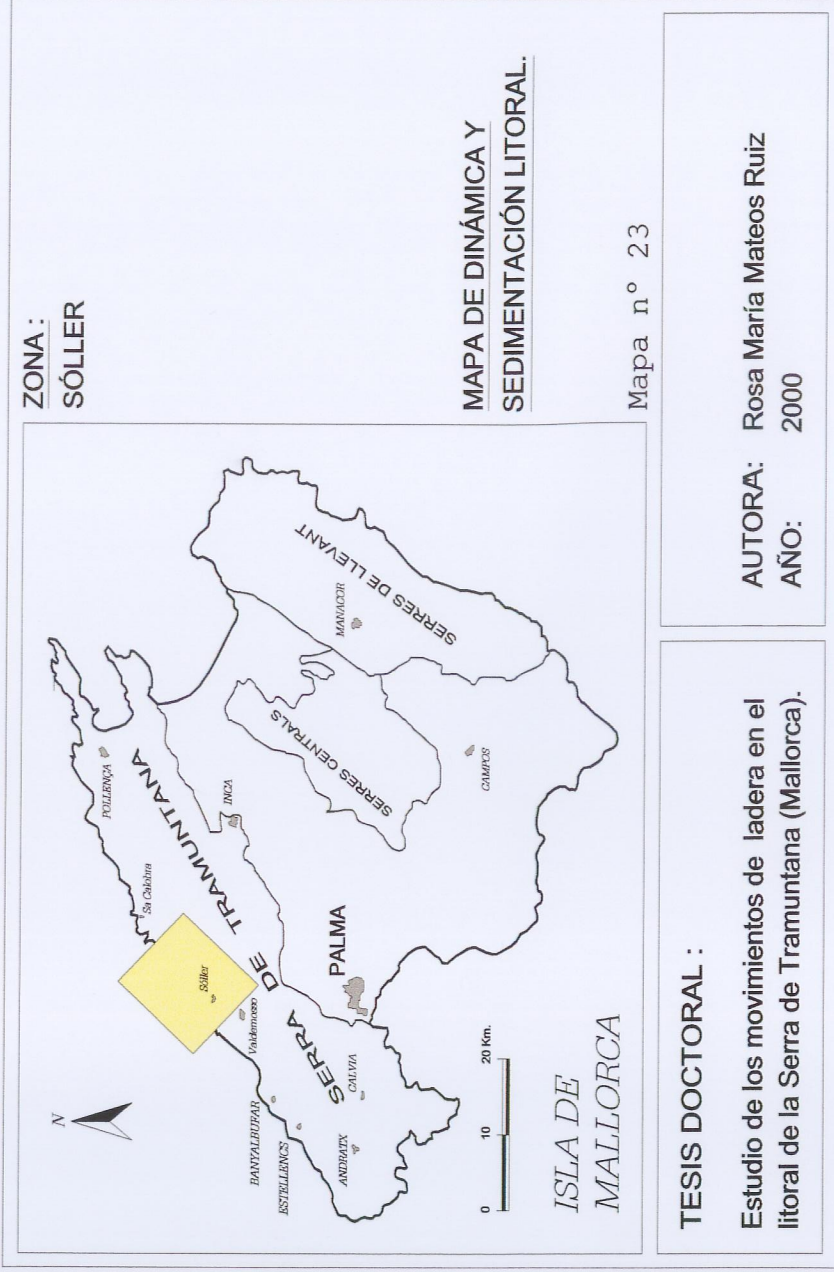
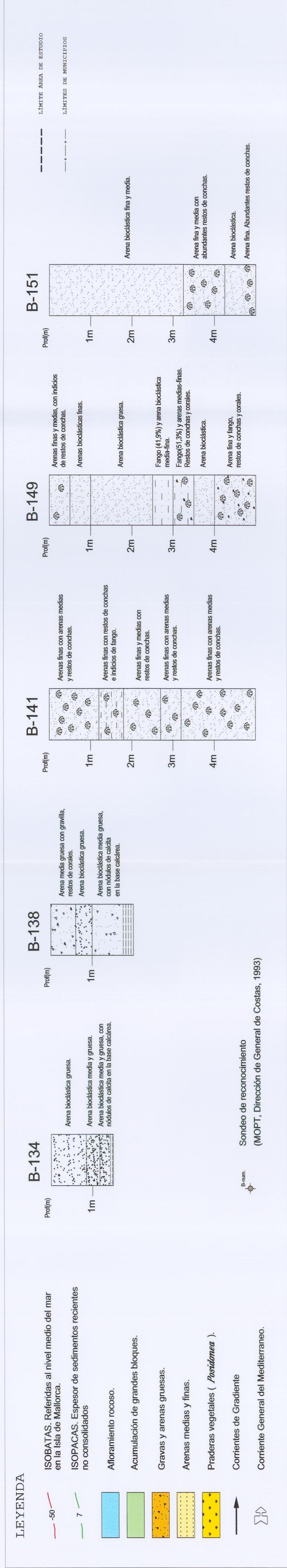




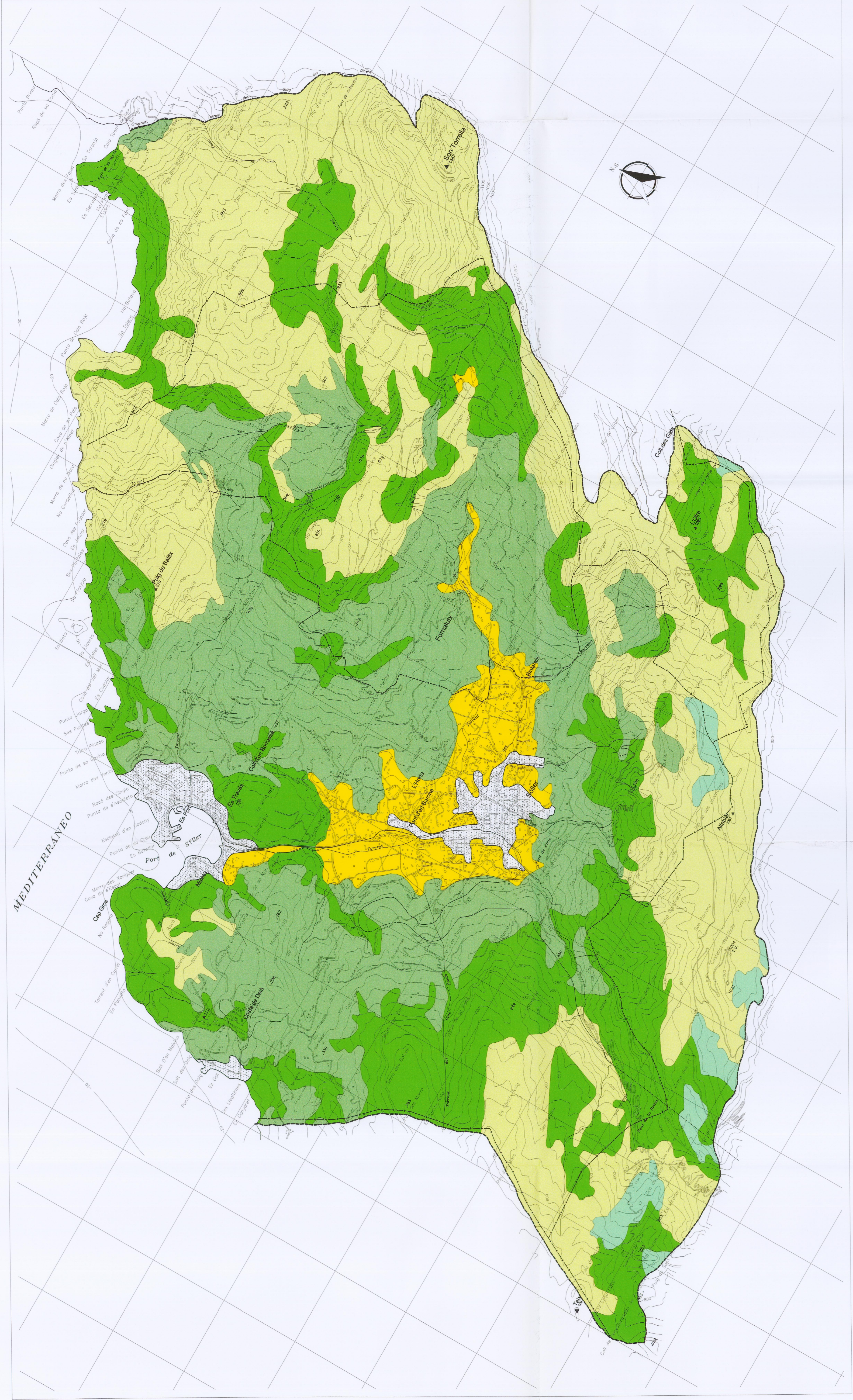




Base topográfica : I.G.N.







ESCALA GRÁFICA :  
0 500 1000  
mts.  
Base topográfica : I.G.N.

LEYENDA			
Matorral (com. <i>Rosmarino-Ericion</i> ). Ocasionalmente <i>Pinus halepensis</i> .		Olivar en seco ( <i>Olea europaea</i> ), Algarrobos ( <i>Ceratonia siliqua</i> ), Almendros ( <i>Amigdalus communis</i> ). Aterrazamientos (márges).	
Pinar denso de <i>Pinus halepensis</i> , localmente con Encinar ( <i>Quercus ilex</i> ).		Regadío. Pequeños huertos de frutales. Aterrazamiento (márges)	
Encinar ( <i>Quercus ilex</i> ),localmente con Pinar ( <i>Pinus halepensis</i> ).		Urbanizado.	

ZONA :  
SOLLER

MAPA DE VEGETACIÓN.

Mapa nº 22

TESIS DOCTORAL :  
Estudio de los movimientos de ladera en el litoral de la Serra de Tramuntana (Mallorca).

AUTORA: Rosa María Mateos Ruiz  
AÑO: 2000



Rosa María Mateos Ruiz



ESCALA GRÁFICA:  
0 500 1000  
mts.

Base topográfica : I.G.N.

LEYENDA :

ESTRUCTURA TECTÓNICA

Escorpe de falla

Escorpe de línea de falla

Cima anticlinal

Depresión sinclinal

GRAVITACIONAL

Deslizamiento Reciente

Deslizamiento Antiguo

Flujo Reciente

Flujo Antiguo

Frente de caída de rocas

Cono de dentubios

LITORAL

Acanitido activo

Acanitido inactivo

Valles colgados por retroceso de acant.

KÁRSTICO

Depresión Karstica

Cañón

Lapiaz

FLUVIAL

Cursos:

Cárcavas

Erosión torrential

Divisoria de aguas

OTROS

Collado

Acumulación de bloques (concholes)

Carriera

nº inventario

LÍMITE ÁREA DE ESTUDIO

LÍMITES DE MUNICIPIOS

ZONA : SÓLLER

MAPA MORFOGENÉTICO E INVENTARIO DE MOVIMIENTOS DE LADERA.

ISLA DE MALLORCA

Mapa nº 21

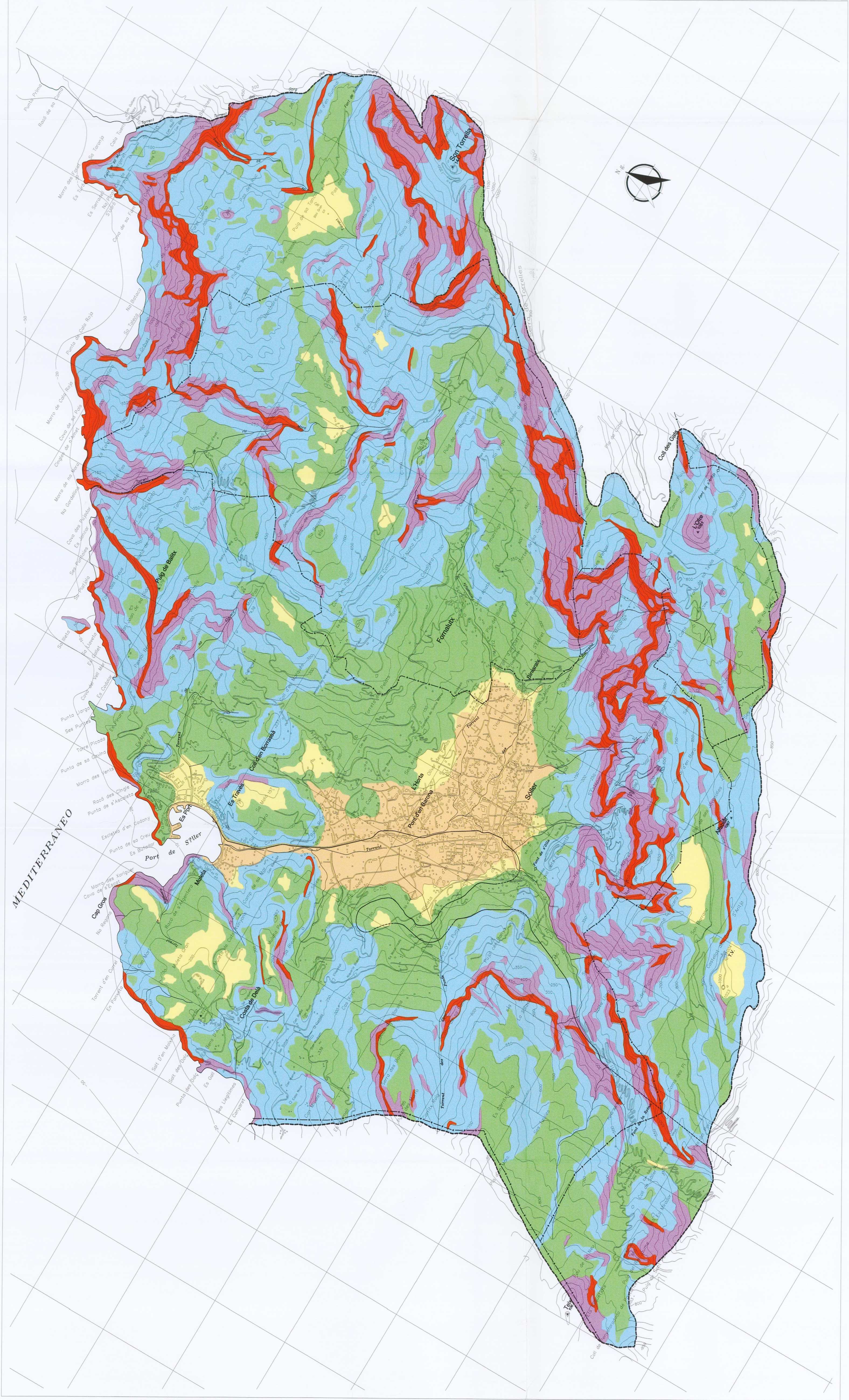
TESIS DOCTORAL : Estudio de los movimientos de ladera en el litoral de la Serra de Tramuntana (Mallorca).

AUTORA: Rosa María Mateos Ruiz

AÑO: 2000



Rosa María Mateos Ruiz



473      474      475      476      477      478      479      480      481      482      483

LEYENDA

- Pendientes inferiores a 5°.
- Pendientes comprendidas entre 5° y 10°.
- Pendientes comprendidas entre 10° y 20°.

- Pendientes comprendidas entre 20° y 35°.
- Pendientes comprendidas entre 35° y 50°.
- Pendientes superiores a 50°.

- LÍMITE ÁREA DE ESTUDIO
- LÍMITES DE MUNICIPIOS

ESCALA GRÁFICA :  
0      500      1000  
mts.

Base topográfica : I.G.N.

ZONA :  
SÓLLER

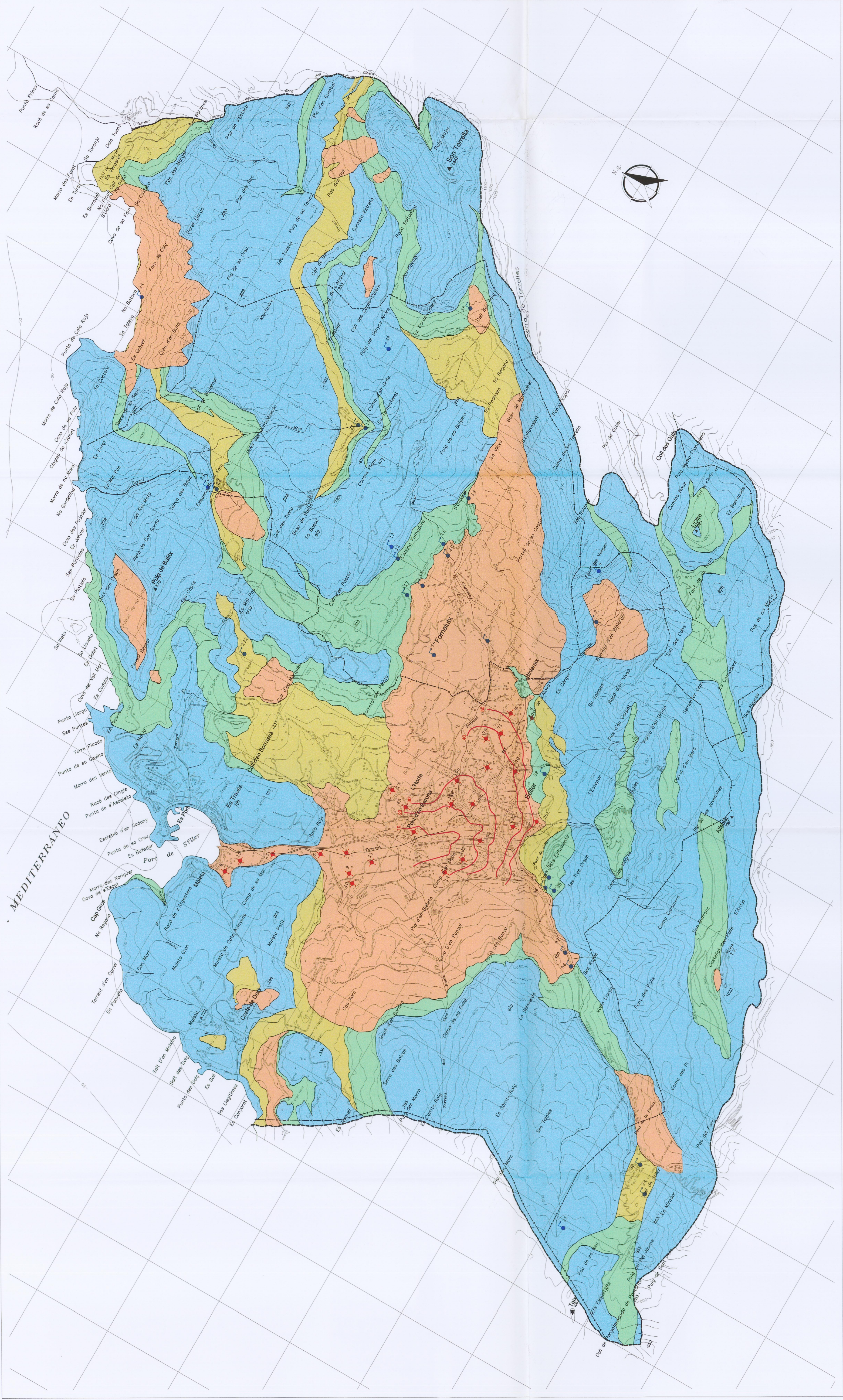
MAPA DE PENDIENTES.

Mapa nº 20

TESIS DOCTORAL :  
Estudio de los movimientos de ladera en el  
litoral de la Serra de Tramuntana (Mallorca).

AUTORA:      ROSA MARÍA MATEOS RUIZ  
AÑO:      2000





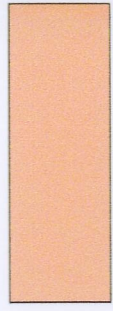
ESCALA GRÁFICA:  
0 500 1000  
m.s.

Base topográfica : I.G.N.

LEYENDA



Terrenos permeables por fisuración y/o karstificación  
(acuíferos calizo-dolomíticos).



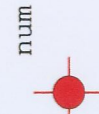
Terrenos permeables por porosidad  
(acuíferos cuaternarios).



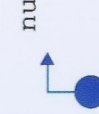
Terrenos de permeabilidad media-baja  
(acuitardos).



Terrenos de muy baja permeabilidad.



Pozo, nº de inventario



Fuente/Manantial, nº de inventario



Isoplezas del acuífero (m)  
Cuaternario de Sóller (Julio 1999)

----- LÍMITE ÁREA DE ESTUDIO

- - - - - LÍMITES DE MUNICIPIOS

ZONA :  
SÓLLER



MAPA DE PERMEABILIDADES.

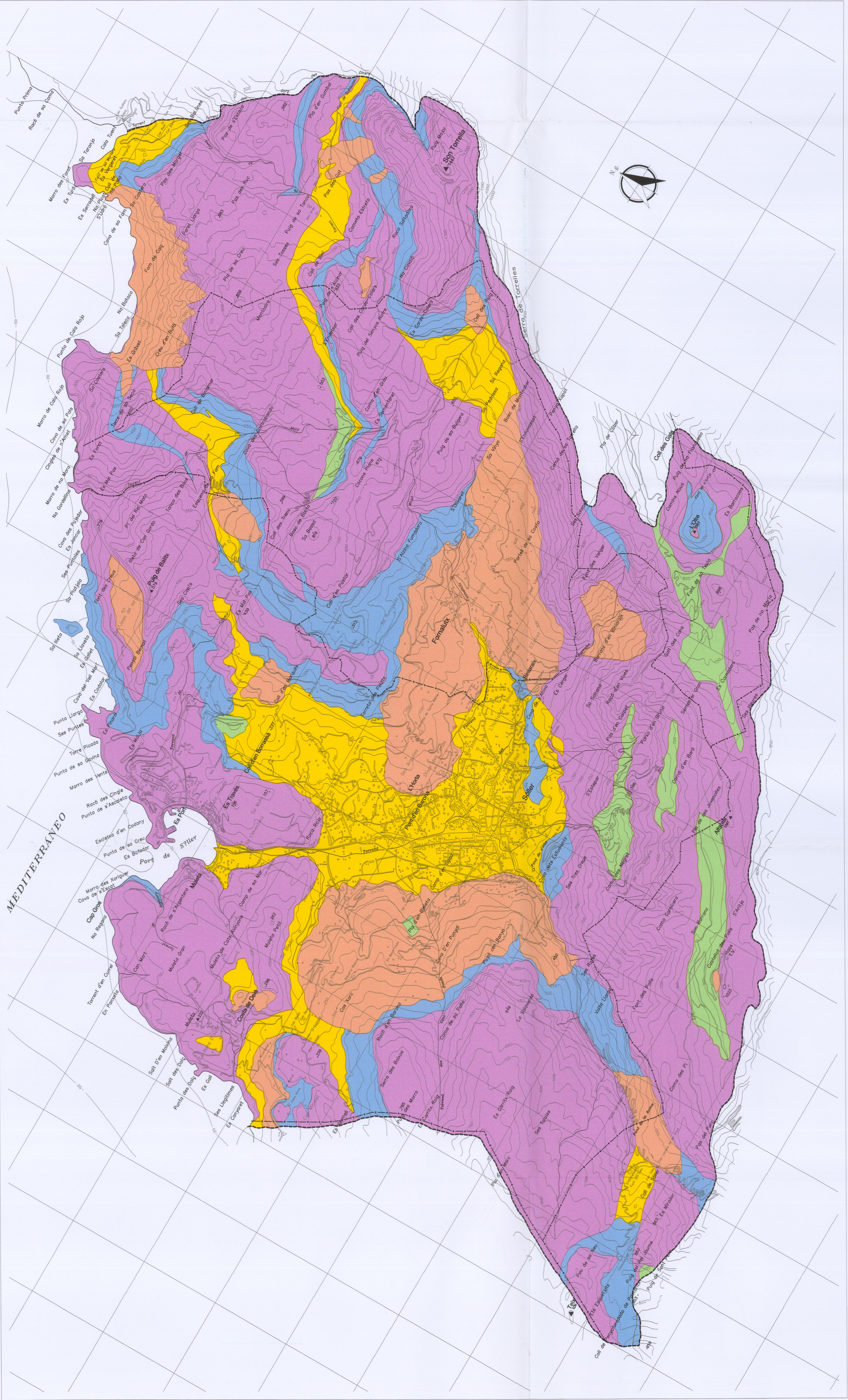
Mapa nº 19

TESIS DOCTORAL :

Estudio de los movimientos de ladera en el  
litoral de la Serra de Tramuntana (Mallorca).

AUTORA: Rosa María Mateos Ruiz  
AÑO: 2000





ESCALA GRÁFICA:  
0 500 1000  
mts.

Base topográfica: I.G.N.

ZONA: SÓLLER

MAPA LITOLÓGICO-GEOTÉCNICO.

ISLA DE MALLORCA

Mapa nº 18

TESIS DOCTORAL :  
Estudio de los movimientos de ladera en el litoral de la Serra de Tramuntana (Mallorca).

AUTORA: Rosa María Mateos Ruiz

AÑO: 2000

LEYENDA

	Suelos muy blandos (MB) y extremadamente blandos (EB)
	Suelos moderadamente blandos (mB) y blandos (B)
	Rocas blandas
	Rocas blandas-moderadamente duras (mD)
	Rocas moderadamente duras (mD) y rocas duras (D)

LITOLOGÍA-EDAD

- Suelos arcillosos del Holoceno
- Facies del Keuper alterados en superficie
- Sedimentos coluviales y aluviales del Holoceno
- Areniscas de Bunissandstein
- Margas y marcozizas del Dogger-Malm y Cretácico
- Margas y calcarenitas de la Fm. Turbidítica de Banyellibaur (Burdigaliense-Langhiense)
- Dolomitas terrazas y conchales del Reihienae
- Dolomitas tabulares del Muschelkalk
- Brechas dolomíticas y calizas del Lias
- Brechas y conglomerados de la Fm. Colcaréntica de Sant Elm (Aquitaniense-Burdigaliense)
- Depósitos coluviales antiguos del Pleistoceno
- Conglomerados del Oligoceno

CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA

ED	MD	D	mD	MB	EB
ED	MD	D	mD	MB	EB

ROCA SUELO

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)

1000 100 10 1 0,5

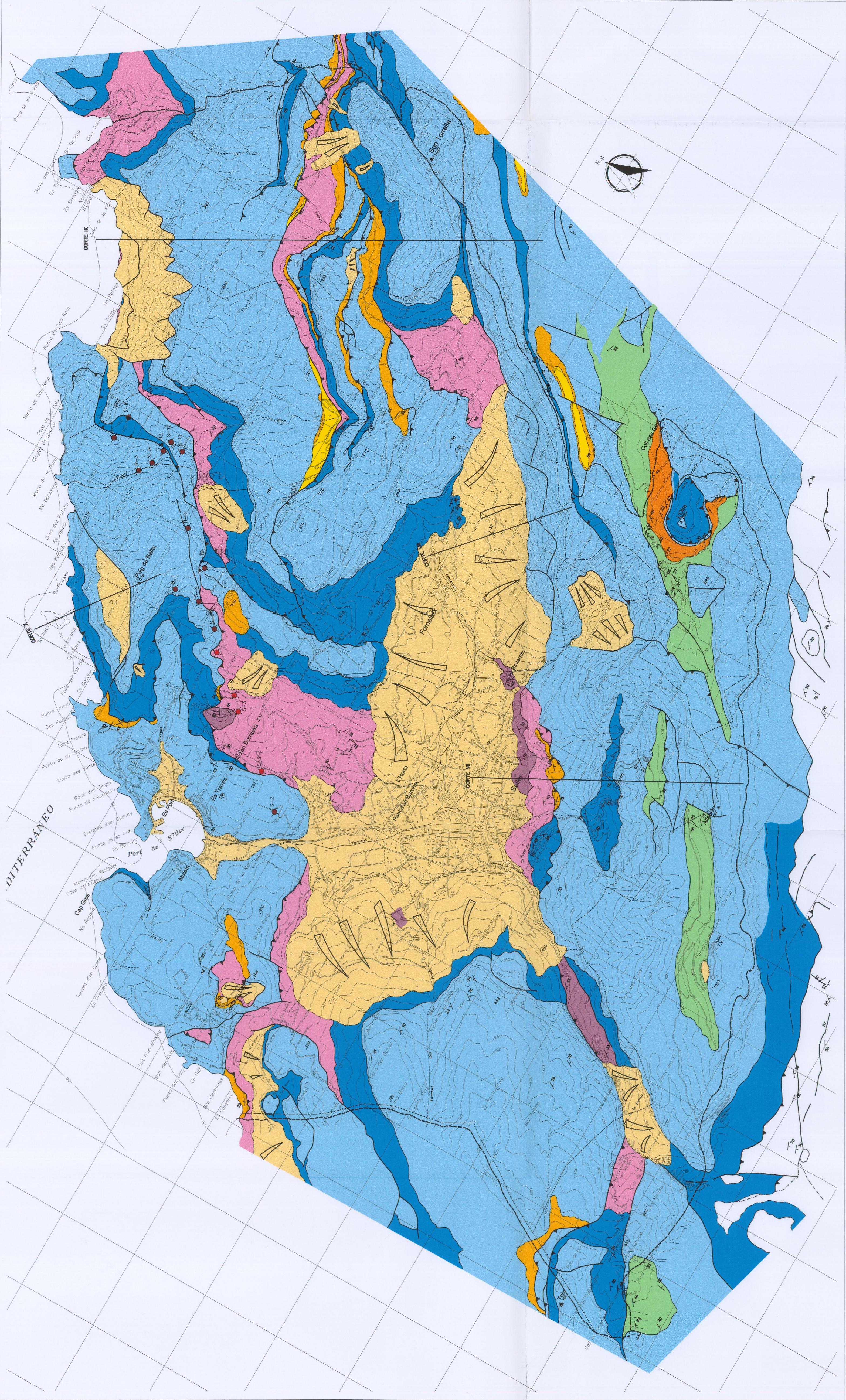
CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA (modificado de De Freitas, 1992)

E = Extremadamente  
M = Muy  
m = moderadamente  
D = Dura  
B = Blanda

Suelos duros-Rocas blandas

(A) — Geol. Soc. London  
(B) — ISRM





ESCALA GRÁFICA :  
0 500 1000  
mts.  
Base topográfica : I.G.N.

LEYENDA

EDAD

Quaternario

Burdigaliense – Langhiense

Aquitaniense

Paleógeno

Dogger – Malm

Lías

Retiliense

Keuper

Muschelkalk

Buntsandstein

Paleozoico

Aluviales y coluviales.

Margas con niveles de calcarenitas, con conglomerados y calizas en la base

Calizas, areniscas calcáreas y conglomerados

Calizas digitales con ligritos, conglomerados con pasadas margosas y conglomerados con bases erosivas

Calizas margocalizas y margas con niveles de sílex

Brechas calcáreas, calizas y dolomías

Dolomías, brechas dolomíticas y carbidos

Lutitas, areniscas, yesos y rocas volcánicas con niveles de dolomías y corridos.

Dolomías, brechas dolomíticas y lutitas intercaladas.

Areniscas, microconglomerados y lutitas

Metapelitas alternantes con areniscas ligeramente metamorfizadas.

—▲—

—┴—

—

—---

—

—mm

Cobalgameinto

Falla normal

Contacto normal

Contacto discordante

Troza de capa

Buzamiento normal

↕

↕

↕

↻

↻

●

▽

Buzamiento invertido

Anticlinal

Sinclinal

Anticlinal tumbado

Sinclinal tumbado

Sondeo (S.G.O.P., 1995)

Sedimentos aluviales y coluviales cuaternarios.

--- --

—+—

LÍMITE ÁREA DE ESTUDIO

LÍMITES DE MUNICIPIOS

ZONA : SÓLLER

ISLA DE MALLORCA

MAPA GEOLÓGICO.

Mapa nº 17

TESIS DOCTORAL :  
Estudio de los movimientos de ladera en el litoral de la Serra de Tramuntana (Mallorca).

AUTORA: Rosa María Mateos Ruiz

AÑO: 2000